



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS AQUÁTICOS TROPICAIS**

PRISCILA CAROLINE ALVES LOPES

PRODUÇÃO DE PLÂNTULAS DE IPÊ-ROSA (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.)
Mattos EM SISTEMA DE AQUAPONIA COM TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*,
Cuvier, 1818)

**BELÉM
2026**

PRISCILA CAROLINE ALVES LOPES

PRODUÇÃO DE PLÂNTULAS DE IPÊ-ROSA (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.)
Mattos) EM SISTEMA DE AQUAPONIA COM TAMBACUI (*Colossoma macropomum*,
Cuvier, 1818)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr Glauber David Almeida
Palheta

BELÉM
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

ALVES LOPES, PRISCILA CAROLINE

PRODUÇÃO DE PLÂNTULAS DE IPÊ-ROSA (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos EM SISTEMA DE AQUAPONIA COM TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) / PRISCILA CAROLINE ALVES LOPES. - 2019.

54 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Biológicas (CB), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2019.

Orientador: Prof. Me. Glauber David Almeida Palheta

1. Biblioteca Univercidade. I. Almeida Palheta , Glauber David , *orient.* II. Título

CDD 634.9562

PRISCILA CAROLINE ALVES LOPES

PRODUÇÃO DE PLANTULAS DE IPÊ-ROSA (*Handroanthus heptaphyllus*
(Vell.) EM SISTEMA DE AQUAPONIA COM TAMBAQUI (*Colossoma
macropomum*, Curvier, 1818)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Aquicultura e Recursos
Aquáticos Tropicais, da Universidade
Federal Rural da Amazônia (UFRA), para
obtenção do título de Mestre.

Data: 04 fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GLAUBER DAVID ALMEIDA PALHETA**
Data: 10/02/2026 11:23:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS**
Data: 10/02/2026 11:33:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Maria de Lourdes Santos
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA
Membro

Documento assinado digitalmente
 **JESSIVALDO RODRIGUES GALVAO**
Data: 12/02/2026 09:19:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA
Membro

Documento assinado digitalmente
 **ELY SIMONE CAJUEIRO GURGEL**
Data: 12/02/2026 10:15:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Ely Simone Cajueiro Gurgel
Museu Paraense Emílio Goeldi
Membro

BELÉM
2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção, força, sabedoria e pelas oportunidades que me foram concedidas ao longo da minha trajetória. Sem sua orientação, esta conquista não teria sido possível.

A Universidade Federal Rural da Amazônia pela infraestrutura e oportunidade para realização pós-graduação. A à equipe do Laboratório de Biosistemas Aquáticos Amazônicos (BIOAQUAM) pelo acolhimento, suporte e infraestrutura essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo, fundamental para a conclusão do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGAqRAT), pela oportunidade de aprofundar meus estudos e pelo apoio acadêmico e estrutural, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Glauber Palheta pela orientação, sabedoria e comprometimento, que foram essenciais para a realização deste trabalho e por sempre compartilhar seu conhecimento de maneira cuidadosa e inspiradora, fez toda a diferença na minha trajetória acadêmica.

Aos meus, Prof. Dr. Savio Guerreiro e Fábio Sterzelecki pela coorientação, apoio contínuo, paciência e por sempre fornecerem as ferramentas necessárias para o desenvolvimento deste estudo e por construírem uma equipe que, acima de tudo, comporta como uma família.

À minha família em especial ao meu pai, Jadinael Lopes, padrinhos Suely Lima e Marcos Salmo Lima, a compreensão e apoio incondicional em todos os momentos. Obrigado por serem o maior exemplo de bondade, honestidade e dedicação que tenho em minha vida. Vocês foram minha base e fonte de motivação ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos Alessandro, Glausto, Maian e colegas Silvio, Marcela, Cintia, Bruna, Deyse e Jean, agradeço o apoio durante essa jornada. Ao meu namorado, João Garcez, pelo companheirismo, paciência e apoio nos momentos desafiadores. A cada palavra de encorajamento e a cada gesto de dedicação. Vocês tornaram os desafios mais leves e a conquistas mais especiais.

RESUMO

Sistemas de produção integrados, como os sistemas aquapônicos, combinam atividades agrícolas e aquicultura para promover práticas sustentáveis. O presente estudo avaliou o crescimento de mudas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Vell.) em sistemas aquapônicos com diferentes tipos de recipientes, juntamente com o cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). Foram montados cinco sistemas para os diferentes tratamentos (recipientes) para avaliação do desempenho do ipê-rosa: tubete, copos hidropônicos, sacos comerciais para mudas, sementeira e substrato de sementes de açaí nos canteiros hidropônicos. Além disso, foi incluído um tratamento controle com sacos convencionais para mudas fora do sistema aquapônico. O experimento durou 33 dias. As variáveis de qualidade da água, o desempenho do crescimento dos peixes e o crescimento do ipê-rosa foram avaliados no final do período experimental. Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) na qualidade da água entre os tratamentos. Os níveis de oxigênio dissolvido foram significativamente mais baixos ($p < 0,05$) no tratamento com substrato de sementes de açaí ($7,36 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$) em comparação com a sementeira ($7,62 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$), copo hidropônico ($7,65 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$) e sacos de mudas ($7,57 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$), mas semelhantes ao tratamento com tubos de mudas ($7,49 \pm 0,04 \text{ mg L}^{-1}$). Os diferentes modelos de recipientes impactaram significativamente ($p > 0,05$) o desempenho do crescimento do tambaqui e do ipê-rosa. O tratamento com recipiente sementeira apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) no comprimento total, comprimento da parte aérea e comprimento da raiz do ipê-rosa em comparação com outros tratamentos. A massa fresca total foi significativamente maior ($p < 0,05$) no tratamento com recipiente de sementeira em comparação com outros tratamentos. A área foliar foi significativamente maior ($p < 0,05$) no tratamento com recipiente de sementeira. Os índices de Dickson foram significativamente maiores ($p < 0,05$) no tratamento com bandeja de copos em comparação com outros tratamentos. O sistema aquapônico com tambaqui foi eficaz na produção de mudas de ipê-rosa.

Palavras-chave: Amazônia, Aquicultura, Meio ambiente, Piscicultura, Silvicultura, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Integrated production systems, like aquaponics systems, combine agricultural and aquaculture activities to promote sustainable practices. The present study assessed the growth of pink trumpet tree (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) seedlings in aquaponic systems with various planting trays and cell models, alongside, tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) cultivation. Five aquaponic systems were set up with different treatments for pink trumpet tree growth, using tubes tray, hydroponic cups, commercial seedling bags, polystyrene seedbeds, and açai seed substrate in the hydroponic beds. Additionally, a control treatment with conventional seedling bags was included outside the aquaponic system. The experiment lasted for 33 days. Water quality variables, fish growth performance, and pink trumpet tree growth were evaluated at the end of the experimental period. There were significant differences ($p < 0.05$) in water quality among the treatments. Dissolved oxygen levels were significantly lower ($p < 0.05$) in the açai seed substrate treatment ($7.36 \pm 0.06 \text{ mg L}^{-1}$) compared to the seedbed ($7.62 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$), hydroponic cup ($7.65 \pm 0.03 \text{ mg L}^{-1}$), and seedling bags ($7.57 \pm 0.03 \text{ mg L}^{-1}$) treatments, but similar to the seedling tubes treatment ($7.49 \pm 0.04 \text{ mg L}^{-1}$). The different planting bed models did not significantly ($p > 0.05$) impact tambaqui growth performance in pink trumpet tree. The polystyrene seedbed treatment showed a significant increase ($p < 0.05$) in total length, aerial part length, and root length of the pink trumpet tree compared to other treatments. Total fresh mass was significantly higher ($p < 0.05$) in the polystyrene seedbed treatment compared to other treatments. Leaf area significantly increased ($p < 0.05$) in the polystyrene seedbed treatment. Dickson indices were significantly higher ($p < 0.05$) in the cup tray treatment compared to other treatments. The aquaponic system with tambaqui was effective in producing pink trumpet tree seedlings.

Keywords: Amazon, Aquaculture, Environment, Fish farming, Forestry, Sustainability.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I.....	14
1 INTRODUÇÃO	10
3 OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo Geral:.....	12
3.2 Objetivos Específicos:.....	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 Sistemas Integrados e Desenvolvimento Sustentável	13
4.2 Sistemas de Recirculação e Tecnologias de Integração	14
4.2 Sitema de aquaponia.....	15
4.5 Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i> , Curvier, 1818)	16
4.1 Produção de plântulas florestais.....	17
4.2 Influência dos Recipientes	18
4.3 Ipê- rosa (<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos).....	19
CAPÍTULO I I	28
RESUMO	30
Introdução	31
Material e Métodos	33
Delineamento Experimental	33
Monitoramento da Água e Parâmetros Ambientais da Casa de Vegetação	36
Desempenho de Crescimento do Ipê-Rosa e do Tambaqui	36
Análise Estatística	37
Resultados	37
Parâmetros da Água e da Casa de Vegetação	37
Desempenho do Tambaqui e do Ipê-Rosa	42
Discussão.....	47
Conclusão	50
REFERÊNCIAS	53

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO

Padronizado de acordo com as normas da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos e a gestão de recursos naturais enfrentam, na atualidade, o desafio crítico de atender ao crescimento populacional global sem comprometer a integridade dos ecossistemas. A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis impulsiona a necessidade de métodos inovadores que minimizem impactos ambientais, otimizem a eficiência do uso da terra e promovam a economia de água (Pretty, 2008; Tilman et al., 2011; Naylor; Fang; Fanzo, 2023). Nesse cenário, os sistemas de produção integrados emergem como uma estratégia vital, permitindo maximizar a biodiversidade e o aproveitamento de nutrientes através da interação sinérgica entre diferentes organismos (Pretty, 2018; Ende et al., 2024).

Como resposta tecnológica eficiente a essas demandas, a aquaponia destaca-se por combinar a recirculação da aquicultura com a hidroponia em um sistema único de produção. O conceito fundamenta-se no estabelecimento de um equilíbrio biológico entre peixes, plantas e microrganismos: os resíduos metabólicos dos peixes (ricos em compostos nitrogenados) são convertidos por bactérias nitrificantes em nutrientes assimiláveis pelas plantas que, ao absorvê-los, depuram a água que retorna aos tanques de cultivo (Rakocy, 2012; Somerville et al., 2014; Natividade et al., 2024). Essa relação simbiótica em circuito fechado reduz drasticamente o consumo hídrico e elimina a necessidade de fertilizantes químicos sintéticos, configurando uma alternativa de baixo impacto ambiental e alta produtividade (Colt et al., 2022; Nair et al., 2025).

No contexto da região amazônica, a aplicação dessa tecnologia ganha relevância estratégica quando associada a espécies nativas de alto valor econômico e cultural. O tambaqui (*Colossoma macropomum*), espécie de maior importância para a piscicultura continental no Brasil, apresenta características zootécnicas ideais para sistemas de recirculação e aquaponia, como rusticidade, rápido crescimento e tolerância a variações nos níveis de oxigênio dissolvido e compostos nitrogenados (Val; Almeida-Val, 2021; Hilsdorf et al., 2022; Petillo et al., 2025). A utilização do tambaqui não apenas valoriza a biodiversidade local, mas também oferece robustez produtiva ao sistema, dada sua ampla adaptação a ambientes confinados e aceitação de mercado (IBGE, 2024).

Apesar do avanço da aquaponia na produção de hortaliças e espécies de ciclo curto, existe uma lacuna científica significativa quanto à sua viabilidade para a produção de mudas florestais. A restauração de biomas degradados, como a Amazônia e a Mata Atlântica, depende da disponibilidade de mudas de alta qualidade de espécies nativas, como o ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) (Oliveira et al., 2005; Ziembowicz et al., 2024). Nesse processo

produtivo, além da viabilidade do cultivo em aquaponia, a escolha do recipiente é um fator determinante para a qualidade de mudas florestais, pois influencia o volume útil de substrato, aeração, drenagem e arquitetura radicular (Ferreira et al., 2017; Melo et al., 2021; Grossnickle; Ivetić, 2017, Melo, L. A. et al., 2018).

No entanto, há escassez de estudos comparando recipientes de produção de mudas florestais em sistemas aquapônicos, especialmente com espécies nativas. A inserção dessas espécies em sistemas integrados representa, portanto, uma fronteira de inovação. O presente estudo busca preencher essa lacuna, investigando o potencial da integração entre o cultivo de tambaqui e a produção de mudas de ipê-rosa submetidas a diferentes tipos de recipientes, visando elucidar se a aquaponia pode ser uma ferramenta eficaz para a silvicultura sustentável.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral:

Avaliar o desenvolvimento de mudas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) em sistema de aquaponia integrado ao cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*).

3.2 Objetivos Específicos:

- Analisar o efeito de diferentes tipos de recipientes sobre as características morfoagronômicas de plântulas de ipê-rosa;
- Comparar o desenvolvimento vegetativo das plântulas de ipê-rosa em aquaponia em relação ao método tradicional de produção;
- Monitorar a qualidade da água e os teores de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento simultâneo da espécie vegetal e do peixe;
- Verificar o desempenho zootécnico do tambaqui durante os ciclos de produção das plântulas florestais.

4.2 Sistemas de Recirculação e Tecnologias de Integração

Os Sistemas de Recirculação de Água (RAS) oferecem controle preciso sobre o ambiente de cultivo e reduzem significativamente a dependência de grandes corpos hídricos. Funcionando em ciclo fechado, a água é constantemente filtrada e tratada, minimizando o volume de efluentes descartados e garantindo uma produção estável, com menor incidência de patógenos (Martins et al., 2010; Ed-Idoko, 2021; Kamali et al., 2023).

A tecnologia RAS serve de base para o acoplamento de outros sistemas, como a IMTA que utiliza múltiplas espécies de diferentes níveis tróficos (bivalves, crustáceos e algas) para maximizar a absorção de nutrientes (Khanjani et al., 2022) e a IAA, focada no aumento da produtividade de pequenos produtores via fertirrigação e hidroponia (Sátiro; Neto; Delprete, 2018).

A aquaponia, especificamente, funde os componentes da aquicultura recirculante com a hidroponia (Natividade et al., 2024). Este ciclo virtuoso resulta em baixo consumo hídrico e alta rentabilidade, permitindo a implementação desde escalas residenciais até grandes complexos comerciais (Love et al., 2014; Campos et al., 2023).

Figura 2: Representação esquemática do sistema de aquaponia em ambiente protegido, compreende um sistema de recirculação de água (RAS) instalado sob estufa agrícola com cobertura translúcida. O layout integra tanques circulares de cultivo, camas hidropônicas retangulares, as quais funcionam simultaneamente como unidades de produção vegetal e biofiltros para o tratamento dos efluentes gerados pelos peixes.



Fonte: Natividade

4.2 Sistema de aquaponia

A aquaponia é um sistema de produção integrado que combina a criação de organismos aquáticos, com o cultivo de vegetais, utilizando a água como fonte de nutrientes para o crescimento vegetal (Brandon, Youbin, 2019). Nesse arranjo, os resíduos metabólicos dos peixes, principalmente compostos nitrogenados, são transformados por bactérias nitrificantes em formas assimiláveis pelas plantas, que, por sua vez, filtram e devolvem a água depurada ao sistema aquícola (Natividade, et al., 2024).

A aquaponia tem sido proposta como tecnologia eficiente, dentro do contexto de reuso da água, de mínima produção de resíduos, utilização de espaços e recursos naturais, no entanto deve-se considerar a necessidade de manter-se a boa qualidade da água do sistema, atendendo as necessidades dos peixes, plantas e bactérias. (Rakocy, 2007; Satiro et al., 2018).

Para assegurar o bom funcionamento e a qualidade do sistema, torna-se indispensável o monitoramento contínuo dos parâmetros da água, com ênfase na temperatura, no pH, na condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (Kok *et al.*, 2024). A temperatura é um fator limitante da produção, pois interfere diretamente nos processos fisiológicos dos peixes e pode comprometer o desempenho do biofiltro (Bracino *et al.*, 2020). No que se refere ao pH, observa-se que micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn) e cobre (Cu) apresentam redução na disponibilidade em valores de pH acima de 7,0. Por outro lado, macronutrientes como magnésio (Mg), fósforo (P), cálcio (Ca) e o micronutriente molibdênio (Mo) têm sua solubilidade diminuída em condições de pH inferiores a 6,0. O processo de nitrificação é conduzido principalmente por bactérias aeróbias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, responsáveis pela conversão do amoníaco. Essas bactérias apresentam melhor desempenho em faixas de pH entre 7,0 e 8,0, consideradas ideais para a atividade nitrificante (Pereira e Mercante, 2005; Domingues et al., 2012; Bracino *et al.*, 2020; Kok *et al.*, 2024). Além disso, o oxigênio dissolvido é um parâmetro essencial, pois sustenta o metabolismo dos peixes, a atividade das bactérias nitrificantes e a respiração radicular das hortaliças, sendo determinante para a estabilidade biológica, a eficiência da ciclagem de nutrientes e a produtividade integrada do sistema aquapônico (Ren *et al.*, 2018; Suhl *et al.*, 2019).

As interações simbióticas estabelecem um ciclo virtuoso de reaproveitamento de nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e de renovação frequente da água (Goddek et al., 2015; Love et al., 2014). Além de promover a redução dos impactos ao meio ambiente e assegurar a oferta de alimentos saudáveis aos consumidores finais, conciliando, duas vertentes fundamentais: rentabilidade econômica e sustentabilidade ambiental (Oliveira et al.,

2006; BARBOSA et al., 2017).

No Brasil, a aquaponia ainda se encontra em fase de expansão, com predominância de estudos voltados para hortaliças de ciclo curto e espécies de peixes nativos de importância comercial, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*, Curvier, 1818).

4.5 Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Curvier, 1818)

Espécie nativa de maior importância para piscicultura continental no Brasil, pertencente à classe Actinopterygii, ordem Characiformes e família Characidae, o tambaqui é endêmico das bacias dos rios Amazonas, Orinoco e seus efluentes, amplamente distribuído por toda parte tropical da América do Sul e na Amazônia Central. No Rio Amazonas, é comumente encontrado da foz do rio Xingu, no Estado do Pará, até o médio rio Ucaiali, no Peru (Araújo-Lima; Goulding, 1997; Ferreira et al., 1998; Araújo-Lima e Gomes, 2005).

Figura 3: Especime de tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818)



Fonte: Cabral Jr (2024)

O tambaqui é o maior representante da ordem Characiforme da Bacia Amazônica, considerado o segundo maior peixe de escama de água doce da América do Sul. Essa espécie em seu habitat natural, pode alcançar 100 cm de comprimento total e 30 kg de peso, apresenta hábitos pelágicos e hábito diurno (Araújo-Lima e Gomes, 2005; Penna et al., 2005; Ostrensky et al., 2008)

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024) a produção de tambaqui cresceu e representou 17,3% do total de peixes produzidos no Brasil, com 113,6 mil toneladas de tambaqui. A Região Norte liderou a produção, com Rondônia o principal estado produtor, responsável por 30,3% da produção nacional, outros estados importantes incluem Mato Grosso e Maranhão. O crescimento da produção de tambaqui reforça

a importância da aquicultura no Brasil, especialmente nas regiões Norte e nordeste (Peixes BR, 2023).

A espécie, possui preferência por águas ricas em nutrientes, com condições físico-químicas estáveis em toda a coluna de água, próxima à margem com variações de pH entre 4,0 e 6,0, temperatura entre 25 e 34 °C e concentração de oxigênio superior a 4 mg/L (Junk, 1973; Richey, 1986). Apresenta resistência ao baixo nível de oxigênio, em situações drásticas apresentam adaptação morfológica, que resulta no aumento do lábio inferior, para captar mais oxigênio na superfície da lâmina de água, aliado a redução de seu metabolismo e taxa de crescimento. A concentração de oxigênio dissolvido ideal para cultivo é de 5 mg L⁻¹, tolerando níveis de 1,0 e 3,0 mg L⁻¹, o tambaqui apresenta capacidade de realizar ajustes hematológicos, regulação iônica e produção de muco, que proporciona tolerância relativa à ambientes aquáticos ácidos (Araújo-Lima e Gomes, 2005; Do Carmo Neves et al., 2020; Santos et al., 2021).

A popularidade do tambaqui deve-se às suas características zootécnicas: facilidade na produção de alevinos, rápido crescimento em cativeiro, rusticidade, resistência a temperaturas elevadas e hipóxia, aceitação de ração industrial, qualidade da carne e alto valor comercial (Barçante, Souza, 2015; Garcez et al., 2021; Santos et al., 2022). O seu hábito alimentar onívoro (consumindo plantas, insetos, peixes menores e outros animais) confere-lhe uma boa capacidade de digestão de proteínas animais e vegetais, resultando num excelente potencial de crescimento e condições favoráveis de produção (Da Costa et al., 2022; Sterzelecki et al., 2022).

Além de ser adequado tanto para sistemas de monocultivo como para sistemas de policultivo, o tambaqui também é utilizado em sistemas de produção extensivos e intensivos, com foco em maior produtividade sustentável e mínimo impacto ambiental (Hilsdorf et al., 2022). Além disso, possui uma boa adaptabilidade e ajusta-se bem à ração, fator essencial para o sucesso da criação em cativeiro (Do Carmo Neves et al., 2020; Santos et al., 2021).

Pesquisas realizadas por Da Costa et al. (2022) e Sterzelecki et al. (2022) demonstraram que os sistemas de recirculação de água, com diferentes tipos de biofiltros, são eficazes na manutenção da qualidade da água para o cultivo de juvenis de tambaqui. Ambos os estudos observaram boa eficiência na remoção de amônia, nitrito e nitrato, além de resultados positivos no crescimento e na sobrevivência dos peixes, indicando que esses sistemas são opções viáveis para o cultivo de tambaqui em ambientes controlados.

4.1 Produção de plântulas florestais

A produção de mudas florestais é essencial para a restauração de áreas degradadas e a conservação da biodiversidade. Utilizar espécies arbóreas nativas é uma estratégia eficaz na

reestruturação de sistemas florestais (Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2004), sendo crucial conhecer a biologia das plantas nativas para programas de conservação (Apolinário & Pimenta, 2022).

A propagação de espécies florestais nativas, especialmente por sementes, requer entendimento da fisiologia das sementes para garantir o sucesso nos programas de restauração (Rego et al., 2009). A qualidade das sementes é avaliada por testes de germinação, considerando, fatores como dormência, luz, temperatura e oxigênio (Carvalho e Nakagawa, 2012; Brasil, 2013).

Mudas de alta qualidade têm características fisiológicas e morfológicas que aumentam as suas chances de sobrevivência e crescimento, a escolha das mudas adequadas deve considerar a espécie arbórea, a origem das sementes e o processo de cultivo, preferindo espécies nativas para promover a biodiversidade local (Rego et al., 2009; Araújo et al., 2023; De Souza et al., 2023).

Características das mudas, como sistema radicular bem desenvolvido, proporção adequada entre caule e folhas, e idade das mudas (8 a 12 meses), são cruciais para o sucesso no plantio (Araújo et al., 2023). O manejo adequado no viveiro, incluindo controle de irrigação, adubação e proteção contra pragas, é fundamental para garantir mudas robustas e saudáveis (De Souza et al., 2023).

A produção de mudas deve seguir práticas sustentáveis, com coleta de sementes de árvores saudáveis e adaptadas ao ambiente (Araújo et al., 2023). Tratamentos adequados das sementes, como desinfecção e estratificação, aumentam a viabilidade e taxa de germinação (Brandon et al., 2019).

Um dos principais objetivos na produção de mudas é produzir plantas de qualidade e resistência aos estresses bióticos e abióticos; por isso, procuram-se ter plantas com um sistema radicular bem desenvolvido, livre de doenças e danos físicos para posteriormente realizar-se o processo de rusticidade das plantas antes de ir para o campo, tendo assim maiores chances de sobrevivência (Silva et al., 2024).

4.2 Influência dos Recipientes

Um dos fatores diretamente ligados à qualidade morfológica das plantas é o uso de recipientes adequados, que proporcionam melhor desenvolvimento, nutrição e proteção das raízes contra doenças e desidratação (Melo et al., 2021). O tipo e as dimensões dos recipientes influenciam não apenas a qualidade final, mas também os custos de produção das mudas

(Ferreira et al., 2017; Park et al., 2021).

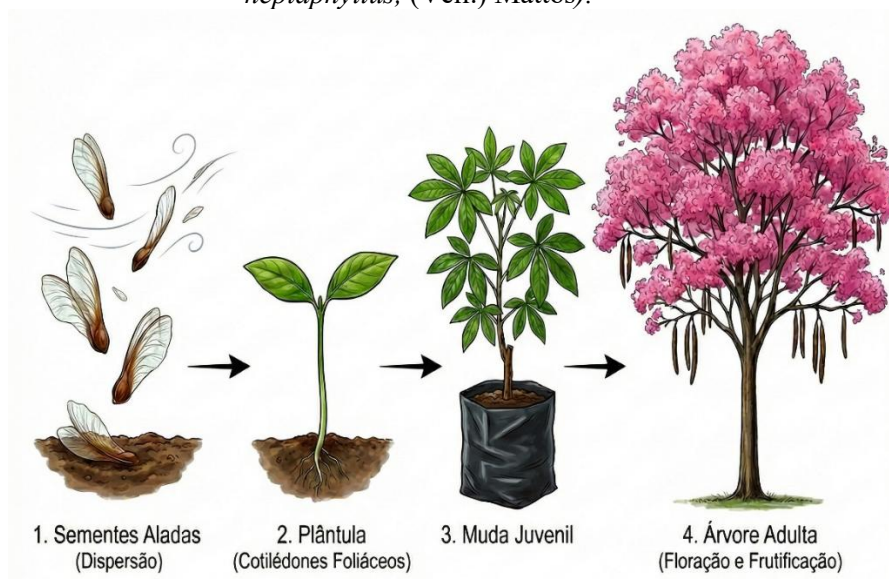
Além das dimensões, o design da bandeja pode influenciar significativamente o desempenho das plantas. Pesquisas demonstram que bandejas de propagação projetadas para minimizar o contato entre o substrato e as paredes do recipiente podem prevenir deformidades radiculares (Mcgrath et al., 2017, Park et al., 2021). Estudos comparativos indicam que bandejas abertas, com maior exposição do substrato, resultam em mudas com menor incidência de raízes deformadas em comparação com recipientes de paredes fechadas (Mcgrath et al., 2021). Portanto, a eficácia de diferentes modelos de recipientes pode variar conforme a morfologia do sistema radicular da espécie, sendo crucial a investigação desses parâmetros para espécies nativas como o ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) (Mcgrath et al., 2017; Melo et al., 2021).

4.3 Ipê- rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos)

Handroanthus heptaphyllus pertencente à família Bignoniaceae, comumente conhecido por ipê-rosa, cabroé, ipê-da-flor-roxa, dentre outros, amplamente distribuído no Brasil, principalmente nas florestas estacionais semidecíduas ocorrendo nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal; nas regiões, norte (Pará e Tocantins), nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe), Centro Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal) e sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo) (Lohmann, 2012; Lorenzi, 2002; Ribeiro et al., 2022;).

Caracterizado como uma espécie decídua, secundária tardia, semi-heliófila a heliófila, atinge altura que varia de 5 a 20 m e tronco de 40 a 80 cm de diâmetro, a sua floração ocorre entre os meses de julho a setembro com a planta ausente totalmente de folhagem e frutificando início de setembro até início de dezembro, sendo que a coleta dos frutos deve ser efetuada no início da abertura espontânea, apresentando então, dispersão anemocórica das sementes (Silva-Junior et al., 2018; Gai, Dos Santos & Vieira, 2017; Silva et al., 2024).

Figura 4: Representação gráfica do desenvolvimento da árvore de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus*, (Vell.) Mattos).



Fonte: Autoral

A germinação das sementes ocorre com relativa facilidade com emergência entre 6 e 15 dias após a sementeira, com percentual de germinação muito variável (Ribeiro et al., 2012), dependendo de um ambiente favorável e das características que a semente possui, além de, condições específicas relativas à sua hidratação, aeração, temperatura e luminosidade (Klein; Reis, 1984; Gomes et al., 2016).

A germinação das sementes pode ser realizada usando-se a sementeira entre papel mata-borrão, entre vermiculita, sobre areia, entre areia, sobre vermiculita e entre papel filtro (Padilha, 2020; Tonetto, 2014). O crescimento de mudas é considerado rápido, ficando prontas para o plantio definitivo em quatro meses, no entanto, o desenvolvimento em campo é moderado (Lorenzi, 2002).

O (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) produz sementes aladas em abundância de alta viabilidade, devem ser semeadas adequadamente logo após a coleta, já que perdem a capacidade de germinação em poucas semanas, caso não sejam mantidas em condições de baixa temperatura e umidade (Grings E Brack, 2011).

A madeira do (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) é considerada dura e pesada, sendo assim de elevada qualidade, podendo ser usada em diversas aplicações, como madeira serrada e roliça, energia, celulose e papel, no paisagismo, reflorestamentos e recuperação ambiental, além de fins medicinais (Aguilar; Sasso, Tabaldi, 2023, Dos Santos 2023).

REFERÊNCIAS

- APOLINÁRIO, J. R.; PIMENTA, T. S. Natureza e História: produções e saberes sobre as plantas em processos de circularidades científicas e nas relações interétnicas no passado e no presente. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 17, n. 1, p. e20220026, 2022.
- ARAÚJO, E. C. G. et al. Global review and state-of-the-art of biomass and carbon stock in the Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 331, p. 117251, 2023.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **So fruitful fish**: ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon's Tambaqui. New York: Columbia University Press, 1997. 157 p.
- ARAÚJO-LIMA, C.; GOMES, L. Tambaqui *Colossoma macropomum*. In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L. (org.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2005. p. 175-202.
- BARBOSA, P. T. L. et al. Sistema Bioflocos. In: MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/UFMS, 10., 2017, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: UFMS, 2017.
- BARÇANTE, B.; SOUSA, A. Características zootécnicas e potenciais do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para a piscicultura brasileira. **PubVet**, v. 9, n. 7, p. 287–290, 2015.
- BOSONA, T.; GEBRESENBET, G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. **Food Control**, v. 33, n. 1, p. 32-48, 2013.
- BRACINO, A. A. et al. Biofiltration for recirculating aquaponics system: a review. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANOID, NANOTECHNOLOGY, INFORMATION TECHNOLOGY, COMMUNICATION AND CONTROL, ENVIRONMENT, AND MANAGEMENT (HNICEM), 12., 2020. **Proceedings [...]**. IEEE, 2020. p. 1-6.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária – MAPA/ACS, 2013.
- CAMPOS, L. S. et al. Water quality and growth of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a biofloc system with different carbon sources. **Aquaculture**, v. 562, p. 738769, 2023.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CHOPIN, T. et al. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): An environmentally, economically and socially responsible practice. **Aquaculture**, v. 372, p. 1-13, 2012.
- COLT, J. et al. Engineering Design of Aquaponics Systems. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 30, n. 1, p. 1–95, 2021.
- CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future advances. **Aquaculture**, v. 356-357, p. 351-356, 2012.
- DA COSTA, J. A. S. et al. Açaí residue, *Euterpe oleracea*, as a substrate for Coriander,

Coriandrum sativum, seedling production in aquaponic system with Tambaqui, *Colossoma macropomum*. **Agriculture**, v. 12, n. 10, p. 1555, 2022.

DO CARMO NEVES, L. et al. Physiological and metabolic responses in juvenile *Colossoma macropomum* exposed to hypoxia. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 6, p. 2157-2167, 2020.

DOMINGUES, D. S. et al. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 84, p. 53-61, 2012.

DOS SANTOS, J. et al. Produção de mudas de *Annona squamosa* L. através de estaquia em sistema hidropônico. In: **Ciências Agrárias: pesquisas e inovações**. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2023.

ED-IDOKO, J. O. Relevance of Water Recirculating System in Modern Aquaculture. **Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research**, p. 107–113, 2021.

EDWARDS, P. A systems approach for the promotion of integrated aquaculture. **Aquaculture Economics & Management**, v. 2, n. 1, p. 1–12, 1998.

ENDE, S. et al. Recent advances in recirculating aquaculture systems and role of microalgae to close system loop. **Bioresource Technology**, v. 391, p. 131107, 2024.

FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S.; SANTOS, G. M. **Peixes comerciais do médio Amazonas**: Região de Santarém – PA. Brasília: Edições IBAMA, 1998. 211 p. (Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca).

FERREIRA, M. da S.; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; COSTA, L. V. Crescimento inicial de Itaúba e Macacaúba em recipientes de diferentes tamanhos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 499–508, 2017.

GAI, A. P. C.; SANTOS, D. S.; VIEIRA, E. A. Effects of zinc excess on antioxidant metabolism, mineral content and initial growth of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos and *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. **Environmental and Experimental Botany**, v. 144, p. 88-99, 2017.

GARCEZ, J. R. et al. Cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques-rede: Aspectos técnicos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e45810817560, 2021.

GIL, J. et al. Strategies to systems integration in agricultural plants: a review. **Environmental Development**, v. 24, p. 11-30, 2017.

GODDEK, S. et al. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 4199-4224, 2015.

GOMES, D. R. **Qualidade fisiológica de diásporos, produção de mudas e desenvolvimento inicial a campo de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GRINGS, M; BRACK, P. (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (ipê-roxo). In: CORADIN, L; SIMINSKI, A.; REIS, A. (Org.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor**

econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região sul. Brasília: MMA, 2011. p. 934.

GUERREIRO, M. et al. Integrating Aquaponics with *Macrobrachium amazonicum* (Palaemonidae: Decapoda) Cultivation for the Production of Microgreens: A Sustainable Approach. **AgriEngineering**, v. 6, n. 3, p. 2718–2731, 2024.

GUIMARÃES, R. Q. et al. Integrated cultivation of tambaqui (*Colossoma macropomum*) with coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown at different plant density. **Journal of Cleaner Production**, v. 470, p. 143346, 2024.

HILSDORF, A. W. S. et al. Farming the massive *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, p. 993-1027, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agropecuária: tambaqui**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tambaqui/br>. Acesso em: 23 dez. 2025.

JUNK, W. J. Investigations on the ecology and production-biology of the “floating” meadows on the middle Amazon. Part II: The aquatic fauna in the root zone of floating vegetation. **Amazoniana**, v. 4, n. 1, p. 9-12, 1973.

KAMALI, S.; WARD, V. C. A.; RICARDEZ-SANDOVAL, L. Closed-loop operation of a simulated recirculating aquaculture system with an integrated application of nonlinear model predictive control and moving horizon estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 209, p. 107820, 2023.

KOK, C. L. et al. Smart aquaponics: An automated water quality management system for sustainable urban agriculture. **Electronics**, v. 13, n. 5, p. 820, 2024.

KUCHLER, P. C. **Utilização do sensoriamento remoto para o mapeamento dos sistemas integrados de produção agrícola:** contribuição ao monitoramento da agricultura de baixa emissão de carbono no estado do Mato Grosso, Brasil. 2021. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2021.

LAL, R. Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic. **Food Security**, v. 12, p. 871-876, 2020.

LOHMANN, L. G. Bignoniaceae. In: FORZZA, R. C. et al. (Eds.). **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v. 2, 368 p.

LOVE, D. C. et al. An international survey of aquaponics practitioners. **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e102662, 2014.

MARINHO, J. S. F. **Integração piscicultura-agricultura como alternativa para o Nordeste:** uma revisão de literatura. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MARTINEZ-CORDOVA, L. R. et al. Advancing toward a more integrated aquaculture with polyculture > aquaponics > biofloc technology > FLOCponics. **Aquaculture International**, v. 31, n. 2, p. 1057–1076, 2022.

MARTINS, C. I. M. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A review on environmental and economic sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.

MELO, M. S. et al. Ambientes e recipientes na produção de mudas de baruzeiros. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 12, n. 1, p. 31-45, 2021.

MONTEIRO, T. G. M.; ANGELI, R.; DE ABREU, V. H. S. Green Bonds and the Incentive to Decrease the Carbon Footprint in the Brazilian Agribusiness Sector. In: MUTHU, S. S. (ed.). **Carbon Footprint Assessments: Case Studies & Best Practices**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 353-372.

NASCIMENTO, E. T. D. S. et al. Produção de Mudas Tardias de Açaí (*Euterpe oleraceae*) em Sistema Aquapônico com Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Curvier, 1818). **Agriculture**, v. 13, n. 8, p. 1581, 2023.

NATIVIDADE, J. S. et al. Nitrogenous compounds, fish and plant growth were impacted by hydraulic loading rates on the aquaponic bed with açai seed (*Euterpe oleracea*). **Journal of Water Process Engineering**, v. 61, p. 105292, 2024.

NAYLOR, R.; FANG, S.; FANZO, J. A global view of aquaculture policy. **Food Policy**, v. 116, p. 102422, 2023.

OLIVEIRA, L. C. et al. Efeito da exploração de madeira e tratamentos silviculturais na composição florística e diversidade de espécies em uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 62-76, 2005.

OLIVEIRA, L. M. et al. Temperatura e regime de luz na germinação de sementes de *Tabebuia impetiginosa* (Martius ex A. P. de Candolle) Standley e *T. serratifolia* (Vahl) Nich. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 642-648, 2005.

OLIVEIRA, R. E.; LANI, J. L.; RUIZ, H. A. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

OLIVEIRA, S. S. et al. Potenciais impactos ambientais da aquicultura: carcinicultura de cativeiro. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este. **Anais [...]**. Montevideo: AIDIS, 2006. p. 1-7.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. **Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: SEAP/PR, 2008. 276 p.

PADILHA, M. S. et al. Temperaturas e substratos para o teste de germinação de sementes de *Cassia leptophylla* Vogel. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 6, p. 9, 2020.

PARK, B. B. et al. The use of deep container and heterogeneous substrate as potentially effective nursery practice to produce good quality nodal seedlings of *Populus sibirica* Tausch.

Forests, v. 12, n. 4, p. 418, 2021.

PEIXE BR. **Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixe BR 2023**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2023. 135 p.

PENNA, M. A. et al. Growth of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) (Characiformes: Characidae): which is the best model. **Brazilian Journal of Biology**, v. 65, p. 129-139, 2005.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: Uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

PETILLO, E. C. et al. Tambaqui (*Colossoma macropomum*) in RAS Technology: Zootechnical, Hematological, Biochemical and Kn Profiles at Different Stocking Densities During the Initial Grow-Out Phase. **Aquaculture Journal**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2025.

PINHO, S. M. et al. South American fish species suitable for aquaponics: a review. **Aquaculture International**, v. 29, p. 1435–1453, 2021.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 447–465, 2008.

PRETTY, J. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. **Science**, v. 362, n. 6417, p. eaav0294, 2018.

RAKOCY, J. E. Aquaponics: integrating fish and plant culture. In: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture production systems**. Ames: Wiley-Blackwell, 2007. p. 344-386.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, p. 106-108, 1984.

REN, Q. et al. A method for predicting dissolved oxygen in aquaculture water in an aquaponics system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 384-391, 2018.

RIBEIRO, C. A. D. et al. Fatores que afetam a germinação das sementes e a biomassa de plântulas de *Tabebuia heptaphylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 161-168, 2012.

RIBEIRO, J. E. D. S. et al. Climatic variation on gas exchange and chlorophyll a fluorescence in *Tabebuia roseoalba* and (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Bignoniaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 65, p. e22210338, 2022.

RICHEY, J. E. et al. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon River: 1982-1984. **Water Resources Research**, v. 22, n. 5, p. 756-764, 1986.

SANTOS, F. A. et al. Growth performance and physiological parameters of *Colossoma macropomum* in a recirculating aquaculture system (RAS): Importance of stocking density and grading. **Aquaculture**, v. 534, p. 736274, 2021.

SANTOS, T. B. R. et al. Prevalence and risk factors of parasites in tambaqui *Colossoma macropomum* fingerling fish farming from São Francisco region AL/SE. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, n. 1, p. 117-125, 2022.

SÁTIRO, T. M.; NETO, K. X. C. R.; DELPRETE, S. E. Aquaponia: Sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018.

SILVA, L. F. S. et al. Estoque de carbono em sistemas agroflorestais e floresta nativa na região sul do Amazonas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, p. 38-46, 2022.

SILVA, R. B. et al. Growth, Evapotranspiration, Gas Exchange and Chl a Fluorescence of Ipê-Rosa Seedlings at Different Levels of Water Replacement. **Plants**, v. 13, n. 20, p. 2850, 2024.

SILVA, T. A. da; et al. Assessment of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos seed quality through X-ray testing. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 46, p. e202446028, 2024.

SILVA-JUNIOR, O. B. et al. Genome assembly of the Pink Ipê (*Handroanthus impetiginosus*, Bignoniaceae), a highly valued, ecologically keystone Neotropical timber forest tree. **GigaScience**, v. 7, n. 1, p. gix125, 2018.

SOUZA, A. G. et al. Growth and gas exchange of *Handroanthus impetiginosus* seedlings under different shading levels. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 740-749, 2020.

STERZELECKI, F. C. et al. Açaí palm, *Euterpe oleracea*, seeds for aquaponic media and seedling production. **Aquacultural Engineering**, v. 98, p. 102270, 2022.

SUHL, J. et al. Oxygen consumption in recirculating nutrient film technique in aquaponics. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 281-291, 2019.

THOMAS, M. et al. When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 2, p. 967-984, 2021.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TONETTO, T. S. **Tecnologia de sementes e desenvolvimento de mudas de (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Mart.) Mattos sob diferentes formas de manejo no viveiro e no campo**. 2014. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TSHIBANGU, J. K. et al. Environmental challenges of mining in the Democratic Republic of Congo: A review. **Journal of Mining and Environment**, v. 13, n. 1, 2022.

VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 29, n. 1, p. 45-100, 2021.

VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 29, n. 1, p. 45-100, 2021.

VELICHKOVA, K. et al. Cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) in the aquaponic recirculation system. **Journal of Central European Agriculture**, v. 20, n. 3, p. 967–973, 2019.

ZIEMBOWICZ, T. et al. Rizogênese em miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus*) com uso de ácido indolbutírico em diferentes épocas do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. e71895, 2024.

ZIMMERMANN, S.; NEW, M. B. Sistemas de cultivo em policultura e cultivo integrado. *In*: VALENTI, W. C. (org.). **Criação de camarão de água doce**: O cultivo de *Macrobrachium rosenbergii*. Brasília: IBAMA, 2000. p. 187-202.

CAPÍTULO I I

Influencia dos tipo de recipientes no crescimento de mudas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818)

Artigo será submetido para a publicação no revista Forest Ecology, Número do Manuscrito: FORECO-D-25-03915. Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista pretendida, padronizado de acordo com as normas da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

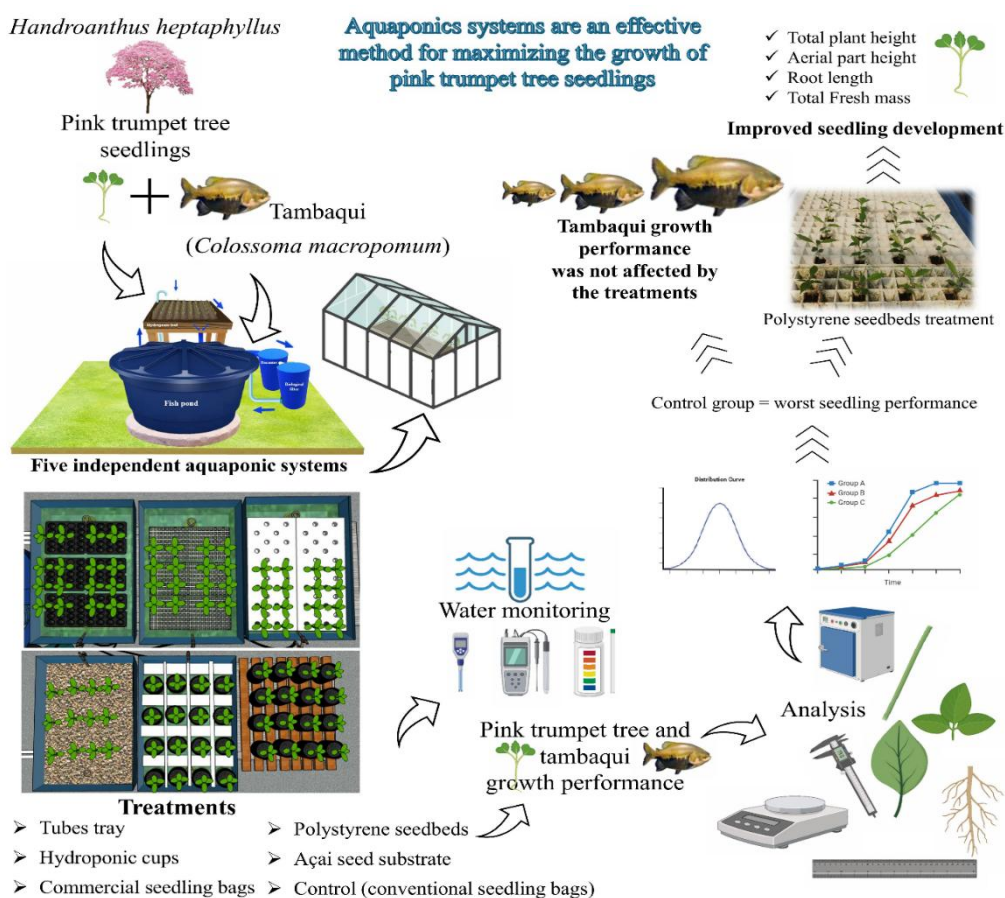
Influencia dos tipo de recipientes no crescimento de mudas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818)

Priscila Caroline Alves Lopes¹, Fábio Carneiro Sterzelecki¹, João Francisco Garcez Cabral Junior¹, Bruna dos Santos Miranda¹, Deyselana Lima da Costa¹, Nuno Felipe Alves Correia De Melo¹, Marco Shizuo Owatari^{2*}, Sávio Lucas de Matos Guerreiro¹, Glauber David Almeida Palheta¹

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Laboratório de Biosistemas Aquícolas da Amazônia – BIOAQUAM, Avenida Perimetral 2501, CEP 66077–830, Belém, Pará, Brasil.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos – AQUOS, Departamento de Aquicultura, Rodovia Admar Gonzaga 1346, CEP 88040–900, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.

RESUMO GRÁFICO



RESUMO

Sistemas integrados de produção, como a aquaponia, combinam atividades agrícolas e de aquicultura para promover práticas sustentáveis. O presente estudo avaliou o crescimento de plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) em sistemas de aquaponia com diferentes bandejas de plantio e modelos de células, juntamente com o cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Foram montados cinco sistemas aquapônicos com diferentes tratamentos para o crescimento do ipê-rosa, utilizando: bandeja de tubetes, copos hidropônicos, sacos comerciais para plântulas, sementeiras de poliestireno e substrato de caroço de açaí nos canteiros hidropônicos. As variáveis de qualidade da água, o desempenho zootécnico dos peixes e o crescimento do ipê-rosa foram avaliados ao final do período experimental. Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) na qualidade da água entre os tratamentos. Os níveis de oxigênio dissolvido foram significativamente menores ($p < 0,05$) no tratamento com substrato de caroço de açaí em comparação aos tratamentos sementeira, copo hidropônico e sacos de plântulas. Os diferentes modelos de leitos de plantio não impactaram significativamente ($p > 0,05$) o desempenho de crescimento do tambaqui. Em comparação aos outros tratamentos o em sementeira de poliestireno apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) no comprimento total, comprimento da parte aérea e comprimento da raiz, massa fresca total e a área foliar. Os índices de Dickson foram significativamente maiores ($p < 0,05$) no tratamento com copos hidropônicos em comparação aos outros tratamentos. ¹⁷O sistema de aquaponia com tambaqui mostrou-se eficaz na produção de plântulas de ipê-rosa.

Palavras-chave: Amazônia, Aquicultura, Meio Ambiente, Piscicultura, Silvicultura, Sustentabilidade.

Introdução

A aquaponia é um sistema de produção que integra o cultivo de organismos aquáticos, geralmente peixes ou camarões, com o cultivo de vegetais. Neste sistema, os organismos aquáticos são mantidos e alimentados em tanques separados, servindo como fertilizantes ao produzir resíduos ricos em compostos nitrogenados. Esses resíduos são então convertidos em nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes, tornando o nitrogênio absorvível pelos vegetais no sistema. Os vegetais, por sua vez, ajudam a manter a qualidade da água que retorna ao tanque dos peixes, criando um ciclo de produção mais sustentável (Rakocy 2012; Somerville et al. 2014; Colt et al. 2022; Nair et al. 2025). A aquaponia tornou-se conhecida mundialmente por sua abordagem sustentável, eficiente e versátil para a produção de alimentos (Rakocy 2012). Esses sistemas reduzem significativamente o uso de água em comparação com a agricultura tradicional, recirculando toda a água e nutrientes das plantas em um sistema fechado, tornando-os particularmente benéficos em regiões secas ou áreas que enfrentam secas prolongadas (Colt et al. 2022; Nair et al. 2025).

Nos últimos anos, avanços tecnológicos levaram ao aumento do uso de sistemas aquapônicos na região amazônica para a produção de proteína animal e vegetais. Sterzelecki et al. (2022) descobriram que sementes de açaí (*Euterpe oleracea* L.), quando usadas como meio aquapônico, germinaram com sucesso e produziram mudas de açaí. Nascimento et al. (2023) otimizaram a produção de mudas tardias de açaí em um sistema aquapônico com tambaqui (*Colossoma macropomum*), obtendo plantas jovens mais desenvolvidas quando as camas hidropônicas foram inundadas a uma profundidade de 5,0 cm, sem impactar o crescimento dos peixes.

Em sistemas aquapônicos, o ajuste da densidade das plantas cultivadas é essencial para maximizar a produtividade, Guimarães et al. (2024) observaram que o coentro (*Coriandrum sativum*) reduziu significativamente a amônia total na água em um cultivo integrado de tambaqui com coentro. Eles também notaram que diferentes densidades vegetais afetaram a condutividade elétrica e a composição nutricional do coentro. Além disso, Natividade et al. (2024) verificaram que a variação das taxas de carregamento hidráulico na cama aquapônica impactou diretamente os compostos nitrogenados, o crescimento dos peixes e das plantas em sistemas aquapônicos. Palheta et al. (2025) demonstraram recentemente o cultivo bem-sucedido de Jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K.Jansen) utilizando efluente de tanques de tambaqui, destacando o potencial para a integração entre aquicultura e agricultura. No entanto, há informações limitadas sobre a aplicação da aquaponia para o cultivo de mudas de árvores que

possuem importância ecológica e econômica na região amazônica. Essa integração está ganhando importância diante da expansão populacional, da escassez de água e das mudanças climáticas.

A germinação de sementes e o estabelecimento de mudas são altamente sensíveis à disponibilidade de água e às condições microclimáticas, e essas mudanças têm um impacto negativo nesses processos (Daibes et al. 2019; Silva et al. 2021; Ferreira et al. 2022; Hernandez et al. 2023; Moraes et al. 2024). A produção controlada de mudas de espécies resilientes, como as do gênero *Handroanthus* (Silva et al. 2023), apresenta uma estratégia promissora para aprimorar a silvicultura e a restauração florestal na região amazônica.

Handroanthus compreende espécies com significativa importância econômica e ecológica devido à sua madeira de alta qualidade, utilidade no paisagismo e na arborização urbana. Assim como o ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos), têm sido extensivamente exploradas, incluindo a exploração madeireira ilegal na Amazônia (Norman e Zunino 2022; Varkulja 2025). A implementação de práticas de produção em viveiro, juntamente com estratégias de manejo sustentável, pode ajudar a aliviar a pressão sobre as populações naturais e facilitar o reflorestamento e a utilização sustentável. Pesquisas recentes mostraram que o plantio de *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose em clareiras florestais pode beneficiar a produção de madeira serrada (Pinto et al. 2021).

A valiosa madeira de *Handroanthus* spp. fornece um incentivo econômico para práticas de manejo sustentáveis e regulamentadas (Norman e Zunino 2022; Varkulja 2025), o que pode ajudar a reduzir o impacto prejudicial da exploração ilegal nas populações naturais de *Handroanthus* spp. e apoiar os esforços de conservação da biodiversidade. Devido aos desafios na regeneração natural (Gomes et al. 2010), a produção intencional de mudas surgiu como uma abordagem estratégica para a restauração ecológica, práticas florestais sustentáveis, reabilitação de áreas degradadas, recuperação florestal e atendimento à demanda por madeira legal (Lamhamedi et al. 2023). Além disso, o cultivo controlado utilizando substratos otimizados (Ferreira et al. 2022; Silva et al. 2023) e condições de cultivo (Daibes et al. 2019; Silva et al. 2021) poderia ajudar a garantir que as mudas atinjam um estágio de desenvolvimento mais robusto antes do plantio, aumentando sua capacidade de se estabelecer e crescer com sucesso. Diante desses desafios, a aquaponia é reconhecida como um método valioso para promover a sustentabilidade ambiental na produção de mudas de ipê-rosa.

A silvicultura sustentável desempenha um papel fundamental nos esforços de restauração ecológica e reflorestamento (Souza e Engel 2023), sendo a produção de mudas de espécies-chave em ecossistemas florestais essencial para a reabilitação de áreas degradadas

(Allen et al. 2017, Nyoka et al. 2015). No entanto, os sistemas tradicionais de produção de mudas enfrentam desafios contínuos, incluindo o uso intenso de fertilizantes químicos e a alta demanda hídrica, o que pode prejudicar o meio ambiente e aumentar os custos de produção (Haase et al. 2021; Pinto et al. 2021).

Embora tenha havido avanços tecnológicos na aquaponia para o cultivo de vegetais e frutas, há informações limitadas sobre a viabilidade do cultivo de sementes de árvores florestais nesses sistemas. Devido à falta de pesquisas sobre a produção de mudas florestais em aquaponia, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento de mudas de ipê-rosa (*H. Heptaphyllus* (Vell.) Mattos) em sistemas aquapônicos, utilizando diferentes recipientes, integrados ao cultivo de tambaqui (*C. macropomum*).

Material e Métodos

A pesquisa ocorreu no Laboratório de Biosistemas Aquícolas da Amazônia (BIOAQUAM) na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém (1° 27' 30" S e 48° 28' 12" W), Pará, Brasil. O estudo foi conduzido de setembro a outubro de 2024, coincidindo com o período natural de dispersão das sementes do ipê-rosa (*H. heptaphyllus*). A aprovação para a pesquisa foi obtida na Comissão de Ética no Uso de Animais da UFRA (CEUA/UFRA) com o protocolo número 8598010323.

Delineamento Experimental

Os sistemas de aquaponia foram montados em uma casa de vegetação protegida feita de estrutura de madeira coberta com polietileno transparente de baixa densidade com espessura de 0,150 mm. Com laterais abertas para circulação de ar. A unidade tinha uma área total de 96,0 m² (8,0 m de largura por 12,0 m de comprimento) e um pé-direito de 3,0 m. O experimento durou 33 dias e envolveu cinco sistemas independentes de aquaponia, utilizando tecnologia de recirculação de água. Cada sistema constituído por um tanque de 1000 L para cultivo de tambaqui e um de decantação de 100 L, um biofiltro de 100 L e um canteiro hidropônico de 150 L para abrigar os diferentes tratamentos com modelos de leitos de plantio.

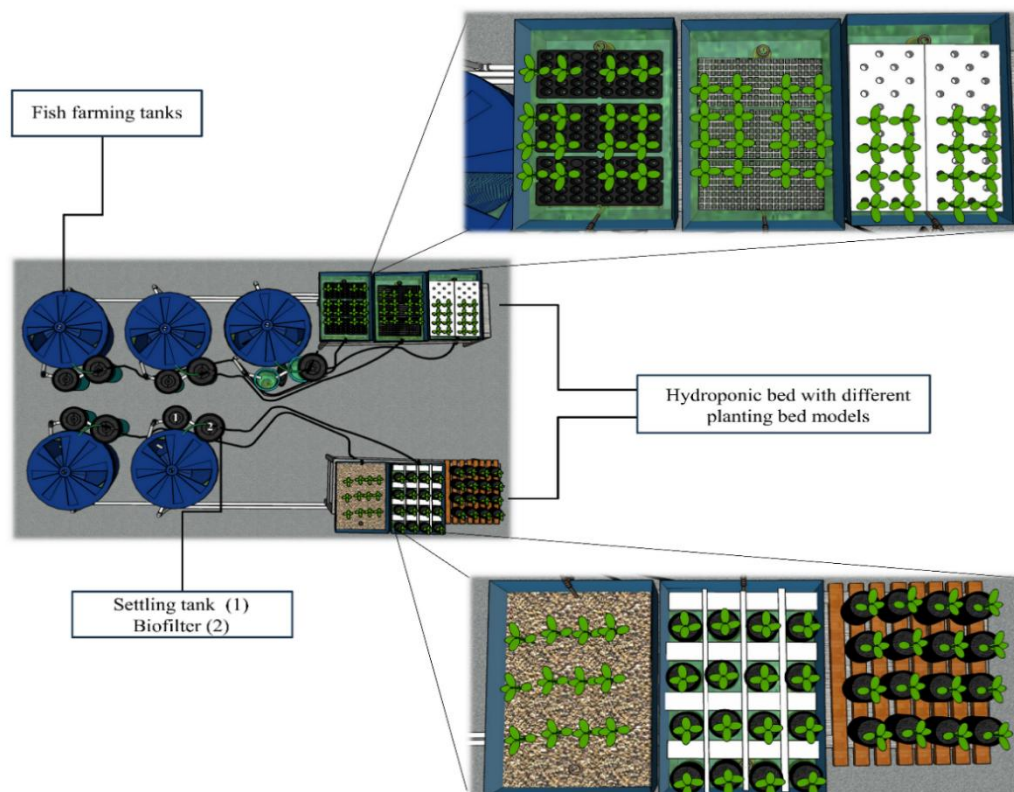
A água do tanque de peixes fluía para o tanque de decantação e através do filtro biológico inundava o canteiro hidropônico das mudas de ipê-rosa (*H. heptaphyllus*), para então retornar ao tanque de peixes, completando assim o ciclo de recirculação (Figura 1).

Foram utilizados setenta juvenis de tambaqui (*C. macropomum*), distribuídos entre os cinco sistemas de aquaponia, totalizando 14 espécimes por sistema. Os peixes foram obtidos da

Piscicultura Tataueira, localizada no município de Peixe-Boi, Nordeste do Pará, e aclimatados no laboratório BIOAQUAM antes do início do período experimental. Inicialmente, os peixes tinham um peso médio de $100,50 \pm 0,20$ g e um comprimento total médio de $18,00 \pm 0,50$ cm. A alimentação dos peixes foi realizada três vezes ao dia (8:00, 12:00 e 16:30), utilizando ração comercial extrusada Guabitec® (36% proteína e 7% lipídeos - Guabi Nutrição e Saúde Animal S.A., Brasil), oferecida a uma taxa de 3% da biomassa viva total de peixes em cada tanque, distribuída em três porções diariamente.

As sementes de ipê-rosa foram coletadas em agosto de 2024 durante o estágio inicial de deiscência de árvores matrizes situadas na Avenida Almirante Barroso em Belém, estado do Pará, Brasil. Após a colheita, os frutos foram armazenados em temperatura ambiente em área sombreada por dois dias para permitir a deiscência completa e facilitar a extração das sementes. Em 26 de agosto de 2024, foram semeadas, atingindo uma taxa de germinação de 90% dentro de sete dias. Após 14 dias, com um comprimento médio da parte aérea de $4,99 \pm 0,02$ cm e duas folhas, as plântulas foram transplantadas para recipientes e integradas aos sistemas de aquaponia.

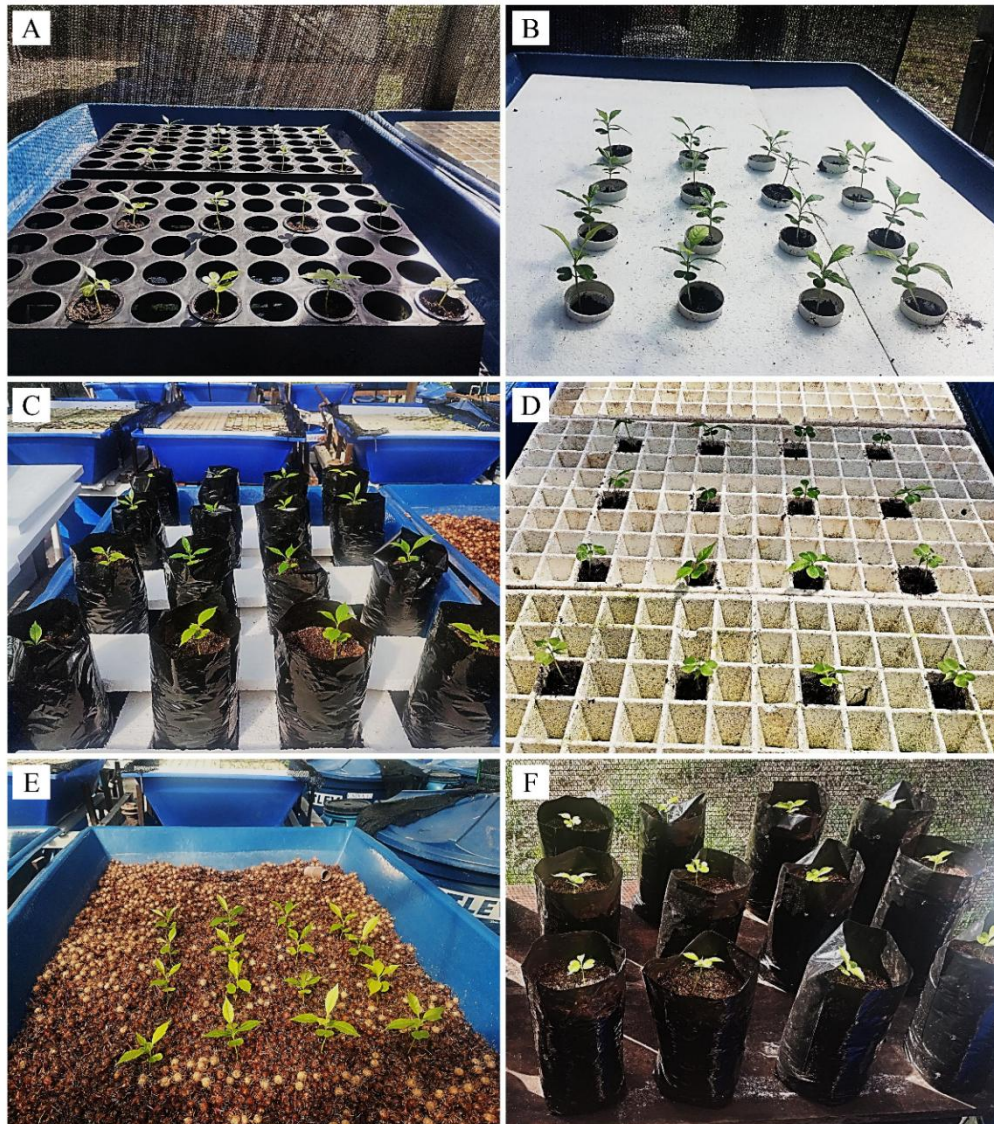
Figura 1: Representação esquemática dos sistemas de aquaponia utilizados para a produção de tambaqui (*Colossoma macropomum*) com plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Vell.) Mattos).



Legenda: Tanques de piscicultura; Tanque de decantação (1) Biofiltro (2); Leito hidropônico com diferentes modelos de leito de plantio.

Os cinco tratamentos para o crescimento de ipês-rosas consistiram em: bandeja de tubetes, copos hidropônicos, sacos comerciais para plântulas, sementeiras de poliestireno e substrato de caroço de açaí. Dezesesseis plântulas de ipê-rosa foram instaladas em cada leito hidropônico, inicialmente germinadas em solo inerte e posteriormente transplantadas para os cinco diferentes tratamentos com modelos de leitos de plantio preenchidos com fibra de coco comercial Goldmix® como substrato para fixação das plântulas. As plantas foram espaçadas 10 cm entre si. Além disso, foi estabelecido um tratamento controle, conduzido em sacos convencionais para plântulas de 1,0 kg (15 × 20 cm) contendo substrato organomineral comercial Vermsubst®, simulando o método de cultivo empregado comercialmente (Figura 2).

Figura 2: Tratamentos para o crescimento de plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Vell.) Mattos) em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*). Bandeja de tubetes (A), copos hidropônicos (B), sacos comerciais para plântulas (C), sementeiras de poliestireno (D), substrato de caroço de açaí (E) e Controle (F).



Monitoramento da Água e Parâmetros Ambientais da Casa de Vegetação

O monitoramento da água nos sistemas de aquaponia foi realizado diariamente, registrando temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH. Para fornecimento de oxigênio aos tanques de peixes, foram utilizados difusores de pedra porosa acoplados a um soprador radial de 1,0 cv (Asten & Cia Ltda., Valinhos, SP, Brasil). As medições foram realizadas utilizando um oxímetro YSI ProODO (Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH, EUA; precisão $\pm 0,01$ mg L⁻¹), calibrado ao ponto de saturação, um medidor de pH digital (Porto Alegre, RS, Brasil; precisão $\pm 0,01$, AKSO®) e um condutivímetro TDS&EC (São Paulo, SP, Brasil; precisão $\pm 2\%$ FS), calibrado com solução padrão 1413 μ S cm⁻¹ (AKSO®). Semanalmente, amostras de água foram coletadas de cada sistema para quantificação de amônia total, nitrito e nitrato, utilizando o kit comercial LabconTest® (Alcon, Camboriú, SC, Brasil). As leituras foram realizadas em duplicata utilizando um espectrofotômetro Kasuaki IL-593 (Kasuaki, São Paulo, Brasil), em comprimentos de onda de 630 nm para amônia, 540 nm para nitrito e 220–270 nm para nitrato. A alcalinidade foi determinada por titulação ácido-base utilizando uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,02 mol L⁻¹ e indicadores fenolftaleína e azul de bromotimol.

Os parâmetros ambientais dentro da casa de vegetação, a temperatura, qualidade do ar e intensidade de luz foram monitoradas diariamente durante o experimento. A temperatura e umidade do ar foram medidas com um termômetro e um higrômetro digital (WLXY® HF-2ª, SP, Brasil), e a intensidade de luz foi medida com um fotômetro (luxímetro digital TASI® TA8121).

Desempenho de Crescimento do Ipê-Rosa e do Tambaqui

Durante o experimento, foram realizadas cinco avaliações fitotécnicas nas quais foram medidos os seguintes parâmetros: comprimento total, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca total, massa fresca da folha, massa fresca da raiz, massa fresca do caule, massa seca total, massa seca da folha, massa seca da raiz e massa seca do caule. Foram realizadas medições semanais do comprimento do caule, diâmetro do caule e número de folhas. Para todas as medições, foi utilizada uma régua graduada em centímetros, um paquímetro digital graduado em milímetros (Mitutoyo® 200mm 500-197-30) e uma balança analítica (Unibloc® ATY224 Shimadzu) para obter os valores de matéria fresca e seca das plântulas de ipê-rosa. Para análise de massa seca, amostras de material fresco foram secas em estufa por 48 h a 65°C.

Antes do processo de secagem, as folhas foram digitalizadas para determinar sua área foliar usando o software ImageJ®. Para isso, cada lâmina foliar foi removida, identificada e posicionada sobre uma folha de papel A4 contendo um retângulo preto de 3×15 cm (equivalente a 45 cm^2), utilizado como referência para calibração do software. As imagens obtidas foram subsequentemente analisadas no ImageJ para calcular a área foliar.

Para avaliar o crescimento do tambaqui, os animais foram submetidos a jejum de 24 h antes da biometria e anestesiados individualmente com 50 ppm de eugenol para reduzir o estresse. O desempenho de crescimento foi avaliado pelo peso médio final (g), ganho de peso médio (g), ganho de biomassa diário (g dia^{-1}), conversão alimentar e taxa de sobrevivência (%).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análises de homocedasticidade e normalidade usando o teste de Shapiro-Wilk. Após a confirmação de que os pressupostos foram atendidos, foi conduzida uma ANOVA One-Way (unifatorial), seguida pelo teste de Tukey para comparações de médias. Todas as análises estatísticas foram realizadas com um nível de significância de 5% usando o software GraphPad Prism versão 10.

Resultados

Parâmetros da Água e da Casa de Vegetação

Durante o experimento, a casa de vegetação manteve valores médios de $1311,97 \pm 520,00$ lux para iluminância, $33,45 \pm 1,14$ °C para temperatura e $57,00 \pm 3,71\%$ para umidade relativa. Após 33 dias de cultivo, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) na qualidade da água entre os tratamentos. Os níveis de oxigênio dissolvido foram significativamente menores ($p < 0,05$) no tratamento com substrato de caroço de açaí ($7,36 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$) em comparação aos tratamentos em sementeira ($7,62 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$), copo hidropônico ($7,65 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$) e sacos de mudas ($7,57 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$), mas semelhantes ao tratamento em bandejas de tubetes ($7,49 \pm 0,04 \text{ mg L}^{-1}$). As outras variáveis de qualidade da água não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos e permaneceram dentro da faixa ideal para o cultivo de tambaqui (Tabela 1).

Tabela 1: Variáveis de qualidade da água (médias $\pm$ DP) em um modelo experimental de aquaponia para cultivo integrado de tambaqui (*Colossoma macropomum*) com plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) *H. Heptaphyllus* (Vell.) Mattos) cultivadas com diferentes bandejas de plantio e modelos de células. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de acordo com o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Variáveis de qualidade de água	Tratamentos					p-valor
	Tubete	Sementeira de poliestireno	Substrato de caroço de açaí	Copo hidropônico	Saco de polietileno preto	
pH	7.56 $\pm$ 0.05 ^a	7.46 $\pm$ 0.06 ^a	7.48 $\pm$ 0.03 ^a	7.60 $\pm$ 0.04 ^a	7.49 $\pm$ 0.04 ^a	0.184
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	233.40 $\pm$ 10.34 ^a	225.80 $\pm$ 12.26 ^a	207.60 $\pm$ 6.73 ^a	230.40 $\pm$ 9.91 ^a	247.60 $\pm$ 12.20 ^a	0.112
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	28.29 $\pm$ 0.09 ^a	28.43 $\pm$ 0.11 ^a	28.18 $\pm$ 0.16 ^a	28.31 $\pm$ 0.09 ^a	28.21 $\pm$ 0.09 ^a	0.588
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	7.49 $\pm$ 0.04 ^{ab}	7.62 $\pm$ 0.02 ^a	7.36 $\pm$ 0.06 ^b	7.65 $\pm$ 0.03 ^a	7.57 $\pm$ 0.03 ^a	<0.0001
Alcalinidade (mg CaCO_3^{-1})	9.20 $\pm$ 1.39 ^a	11.00 $\pm$ 1.73 ^a	10.40 $\pm$ 2.04 ^a	9.75 $\pm$ 1.65 ^a	13.28 $\pm$ 1.87 ^a	0.516
Amônia Total (mg L^{-1})	0.17 $\pm$ 0.02 ^a	0.19 $\pm$ 0.01 ^a	0.13 $\pm$ 0.03 ^a	0.14 $\pm$ 0.02 ^a	0.19 $\pm$ 0.01 ^a	0.318
Nitrito (mg L^{-1})	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^a	0.228
Nitrato (mg L^{-1})	19.90 $\pm$ 3.33 ^a	23.87 $\pm$ 1.57 ^a	15.02 $\pm$ 3.20 ^a	23.73 $\pm$ 1.81 ^a	22.39 $\pm$ 4.24 ^a	0.222

Desempenho do Tambaqui e do Ipê-Rosa

Em relação aos índices dos peixes, os diferentes modelos de leitos de plantio para ipê-rosa (*H. Heptaphyllus* (Vell.) Mattos) não impactou significativamente ($p > 0,05$) no crescimento do tambaqui (*C. macropomum*) em sistemas de aquaponia. O tambaqui demonstrou adaptabilidade a todos os sistemas de cultivo, com uma taxa de sobrevivência de 100%. Em valores absolutos, o tratamento bandeja com tubetes produziu o maior peso final médio ($220,14 \pm 11,35$ g), resultando em um ganho de peso médio de cerca de 119 g (Tabela 2).

Em termos de desempenho fitotécnico do ipê-rosa, os diferentes modelos de leitos de plantio afetaram significativamente ($p < 0,05$) o crescimento das plântulas (Tabela 3 e Figura 3). O ipê-rosa apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) no comprimento total, comprimento da parte aérea e comprimento da raiz no tratamento com sementeira de poliestireno em comparação aos outros tratamentos (Figura 4).

Figura 3: Plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) *H. Heptaphyllus* (Vell.) Mattos) cultivadas em diferentes bandejas de plantio e modelos de células em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*).

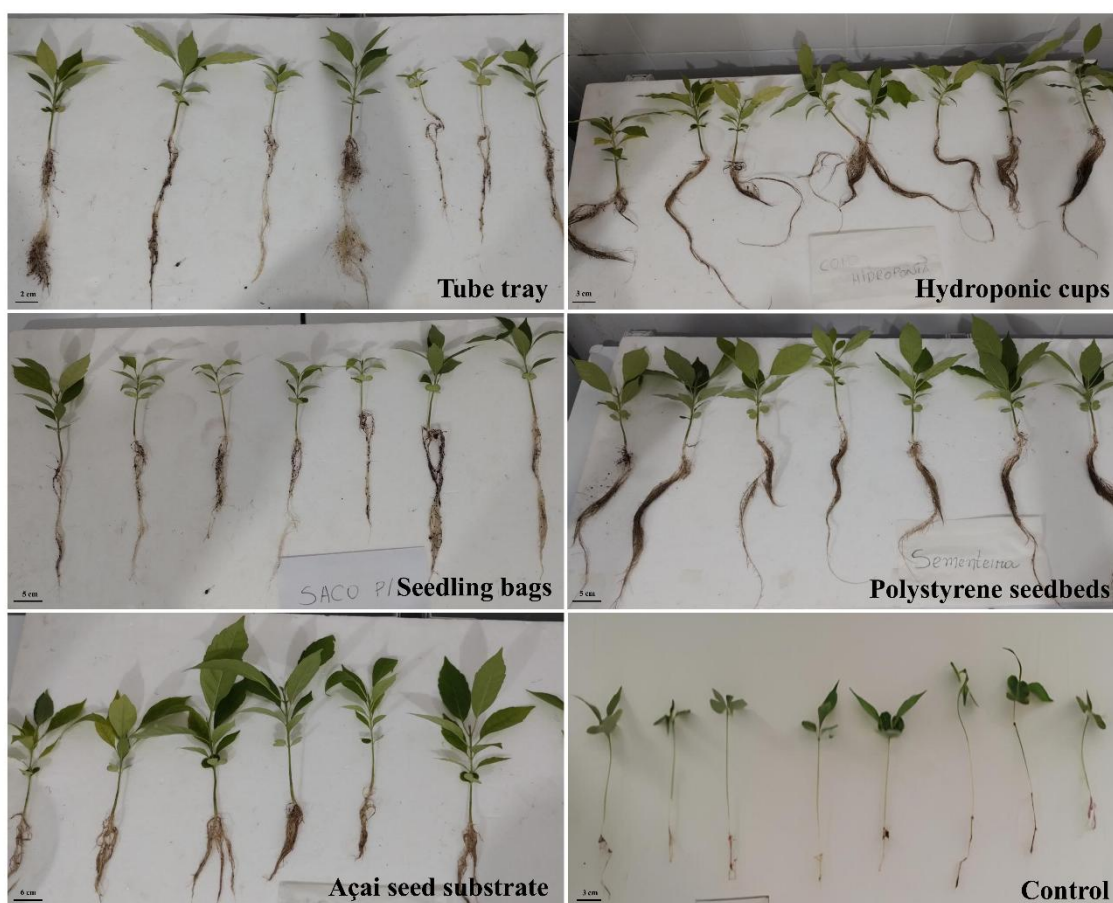


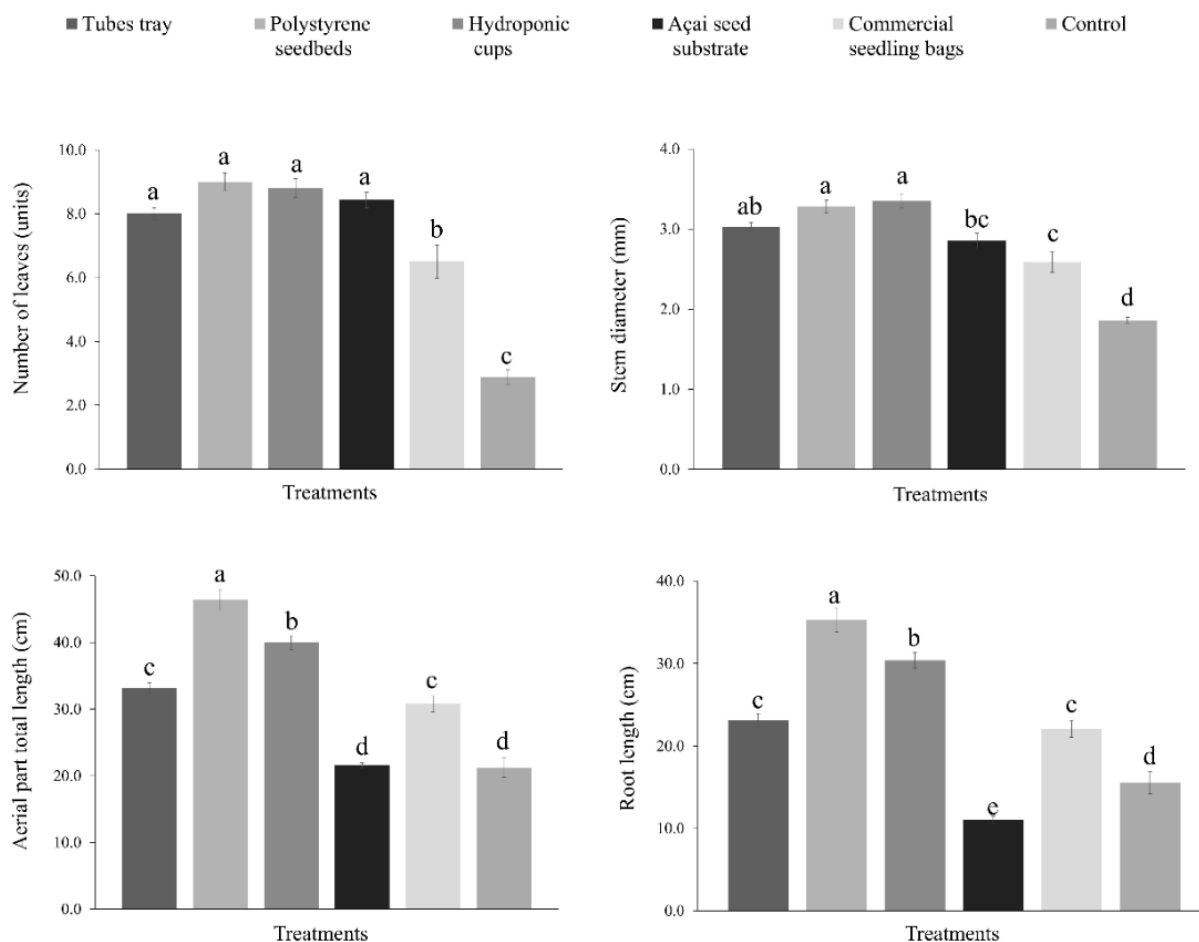
Tabela 2: Desempenho de crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum*) (médias $\pm$ DP) em um modelo experimental de aquaponia com plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Vell.) Mattos) cultivadas em diferentes bandejas de plantio e modelos de células. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de acordo com o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Índice de crescimento	Tratamentos					p-valor
	Tubete	Sementeira de poliestireno	Substrato de caroço de açaí	Copo hidropônico	Saco de polietileno	
Peso inicial (g)	100.5 $\pm$ 4.28 ^a	99.57 $\pm$ 3.02 ^a	98.93 $\pm$ 3.58 ^a	98.86 $\pm$ 3.43 ^a	101.40 $\pm$ 2.97 ^a	0.983
Peso final (g)	220.10 $\pm$ 11.35 ^a	218.10 $\pm$ 7.99 ^a	216.10 $\pm$ 7.75 ^a	207.70 $\pm$ 7.37 ^a	211.10 $\pm$ 10.54 ^a	0.868
Comprimento inicial (cm)	18.08 $\pm$ 0.25 ^a	17.93 $\pm$ 0.20 ^a	18.07 $\pm$ 0.18 ^a	17.99 $\pm$ 0.24 ^a	17.82 $\pm$ 0.24 ^a	0.920
Comprimento final (cm)	23.36 $\pm$ 0.34 ^a	23.86 $\pm$ 0.36 ^a	23.64 $\pm$ 0.30 ^a	23.29 $\pm$ 0.28 ^a	23.07 $\pm$ 0.38 ^a	0.507
Crescimento semanal (g semana ⁻¹)	25.44 $\pm$ 1.51 ^a	25.22 $\pm$ 1.06 ^a	24.93 $\pm$ 0.89 ^a	23.16 $\pm$ 0.88 ^a	23.34 $\pm$ 1.61 ^a	0.756
Taxa de crescimento específico (% dia ⁻¹)	2.36 $\pm$ 0.69 ^a	2.37 $\pm$ 0.56 ^a	2.25 $\pm$ 0.62 ^a	2.37 $\pm$ 0.53 ^a	2.19 $\pm$ 0.70 ^a	0.872

Tabela 3: Índices fitotécnicos de plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) (Vell.) Mattos) cultivadas com diferentes bandejas de plantio e modelos de células em um modelo experimental de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de acordo com o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Índice fitotécnicos	Tratamento						p-valor
	Tubete	Sementeira de poliestireno	Substrato de caroço de açaí	Copo hidropônico	Saco de polietileno	Controle	
Comp. total (cm)	56.3 ± 1.60 ^c	81.65 ± 2.99 ^a	70.33 ± 1.98 ^b	32.63 ± 0.79 ^d	52.84 ± 2.21 ^c	36.74 ± 2.78 ^d	<0.0001
Comp. da parte aérea (cm)	33.16 ± 0.82 ^c	46.38 ± 1.54 ^a	39.96 ± 1.07 ^b	21.57 ± 0.42 ^d	30.78 ± 1.19 ^c	21.21 ± 1.43 ^d	<0.0001
Comp. da raiz (cm)	23.14 ± 0.78 ^c	35.26 ± 1.45 ^a	30.38 ± 0.92 ^b	11.06 ± 0.38 ^e	22.06 ± 1.03 ^c	15.53 ± 1.35 ^d	<0.0001
Massa fresca total (g)	6.05 ± 0.34 ^{ab}	7.59 ± 0.57 ^a	5.88 ± 0.45 ^b	5.17 ± 0.34 ^b	3.08 ± 0.42 ^c	0.83 ± 0.11 ^d	<0.0001
Massa seca total (g)	1.63 ± 0.20 ^{ab}	2.17 ± 0.30 ^a	1.838 ± 0.24 ^a	1.52 ± 0.22 ^{ab}	0.97 ± 0.12 ^{bc}	0.22 ± 0.026 ^c	<0.0001
Massa fresca da raiz (g)	1.57 ± 0.11 ^a	1.47 ± 0.11 ^a	1.33 ± 0.07 ^a	1.26 ± 0.09 ^{ab}	0.88 ± 0.12 ^{ab}	0.278 ± 0.06 ^c	<0.0001
Massa seca da raiz (g)	0.53 ± 0.07 ^{bc}	0.83 ± 0.11 ^{ab}	0.89 ± 0.11 ^a	0.42 ± 0.05 ^{cd}	0.37 ± 0.05 ^{cd}	0.14 ± 0.019 ^d	<0.0001
Massa seca							
aérea (g)	1.63 ± 0.20 ^{ab}	2.17 ± 0.30 ^a	1.83 ± 0.24 ^{ab}	1.52 ± 0.24 ^{ab}	0.97 ± 0.12 ^{bc}	0.22 ± 0.026 ^c	<0.0001
Área foliar (mm ²)	119.10 ± 6.66 ^a	137.90 ± 9.77 ^a	109.90 ± 6.98 ^a	114.10 ± 6.87 ^a	56.62 ± 7.48 ^b	14.38 ± 0.54 ^c	<0.0001
Índice de qualidade de Dickson (IQD)	0.32 ± 0.04 ^{bc}	0.50 ± 0.08 ^{ab}	0.26 ± 0.03 ^{cd}	0.56 ± 0.08 ^a	0.22 ± 0.03 ^{cd}	0.08±0.01 ^d	<0.0001

Figura 4: Índices fitotécnicos de plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) cultivadas em diferentes bandejas de plantio e modelos de células, em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*). Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de acordo com o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

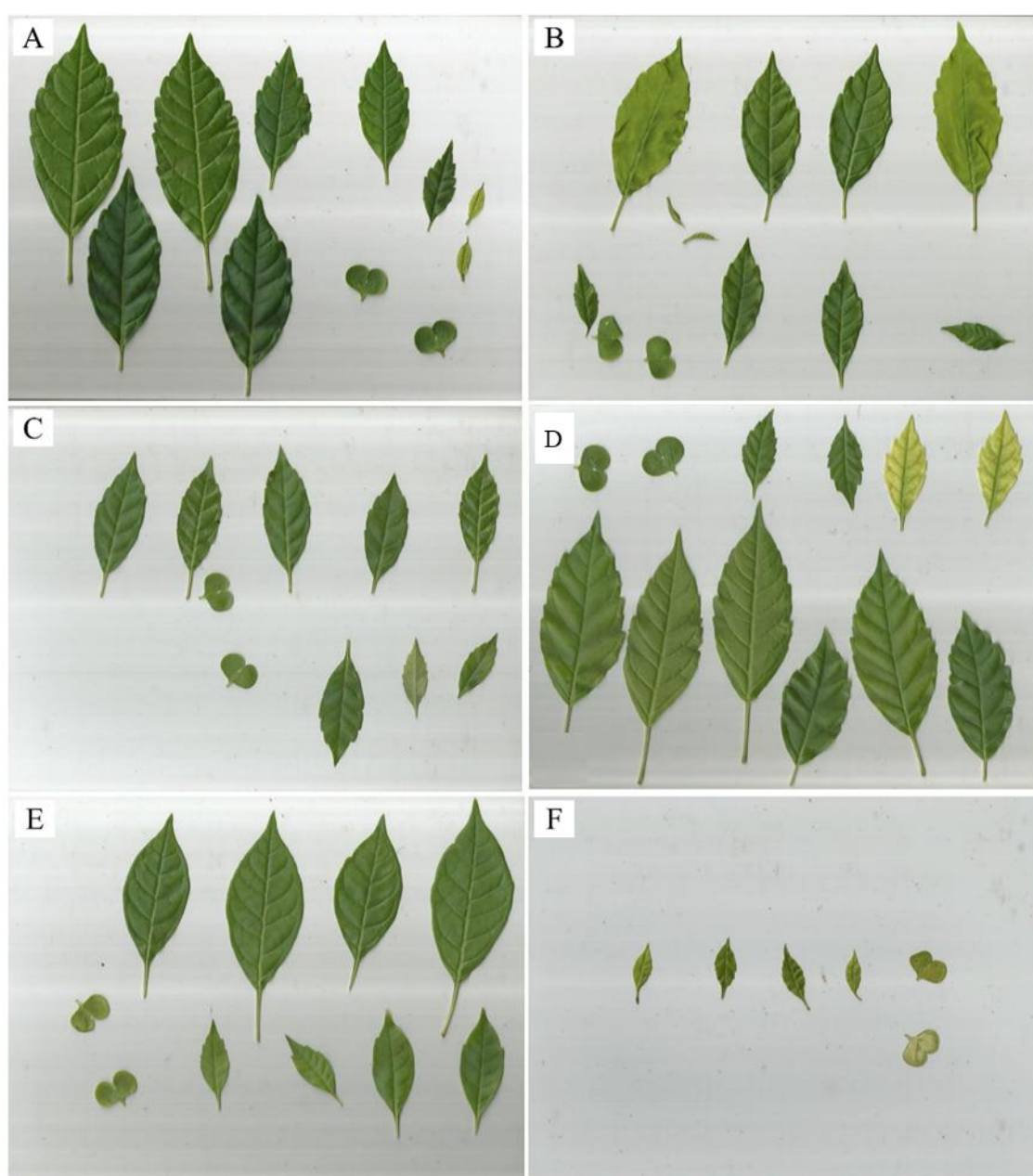


Por outro lado, o comprimento total e o comprimento da parte aérea do ipê-rosa foram significativamente reduzidos ($p < 0,05$) no tratamento com copos hidropônicos e no grupo controle em comparação aos outros tratamentos, enquanto o comprimento da raiz do ipê-rosa foi significativamente reduzido ($p < 0,05$) no grupo controle. A massa fresca total aumentou significativamente ($p < 0,05$) no tratamento com sementeira de poliestireno em comparação aos tratamentos com substrato de caroço de açaí, copo hidropônico, sacos de plântulas e grupo controle; no entanto, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) do tratamento com bandeja de tubetes.

A massa fresca da raiz foi significativamente reduzida ($p < 0,05$) no grupo controle, enquanto a massa seca da raiz aumentou significativamente ($p < 0,05$) nos tratamentos com sementeira de poliestireno e substrato de caroço de açaí. A massa seca da parte aérea aumentou significativamente ($p < 0,05$) no tratamento com sementeira de poliestireno em comparação ao

tratamento com sacos de plântulas e grupos controle. A massa seca total foi significativamente reduzida ($p < 0,05$) no grupo controle em comparação aos tratamentos com bandeja de tubetes, sementeira de poliestireno, substrato de caroço de açaí e copos hidropônicos. A área foliar aumentou significativamente ($p < 0,05$) no tratamento com sementeira de poliestireno (Figura 5).

Figura 5: Amostragem de folhas e cotilédones de plântulas de ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) cultivadas em diferentes bandejas de plantio e modelos de células em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*). Folhas e cotilédones foram utilizadas para obter o parâmetro de área foliar. Bandeja de tubetes (A), copos hidropônicos (B), sacos de polietileno (C), sementeiras de poliestireno (D), substrato de caroço de açaí (E) e Controle (F).



Os índices de Dickson no tratamento com copos hidropônicos foram significativamente maiores ($p < 0,05$) do que os observados em tubete, substrato de caroço de açaí, sacos de polietileno e grupo controle. No entanto, o tratamento com copos hidropônicos e o tratamento em sementeira de poliestireno não diferiram significativamente ($p > 0,05$).

Discussão

Este estudo explora novas possibilidades usando sistemas de aquaponia para a produção de plântulas de ipê-rosa (*H. Heptaphyllus* (Vell.) Mattos) integradas ao cultivo de tambaqui (*C. macropomum*). Os resultados revelaram diferenças notáveis nos parâmetros fitotécnicos avaliados, sublinhando como as condições únicas de cada sistema de plantio impactaram o desenvolvimento das plântulas. À primeira vista, em sistemas de aquaponia, pode-se assumir que a qualidade da água é um fator crítico apenas para o bem-estar dos peixes envolvidos. No entanto, a qualidade da água serve como um elo crucial conectando a saúde dos peixes, plantas e bactérias nitrificantes, que desempenham um papel vital na conversão de compostos de nitrogênio em nutrientes para as plantas. Na aquaponia, todos os organismos coexistem no mesmo ambiente, tornando quaisquer desequilíbrios potencialmente disruptivos para a eficiência do sistema (Rakocy 2012; Somerville et al. 2014; Colt et al. 2022; Nair et al. 2025).

Como criaturas ectotérmicas, o metabolismo dos peixes é diretamente impactado pela temperatura da água. O tambaqui, um peixe tropical, prospera em águas quentes variando de 26°C a 32°C (Cavero et al. 2009). Por outro lado, na hidroponia, a temperatura ideal da zona radicular gira em torno de 25°C (Niu e Masabni 2022; Levine et al. 2023), enquanto as bactérias nitrificantes prosperam melhor dentro de uma faixa de temperatura de 25 °C a 30 °C (Owatari et al. 2022). Ao longo deste estudo, a temperatura média da água em todos os tratamentos permaneceu próxima de 28 °C, uma faixa confortável considerando que a temperatura média da casa de vegetação excedeu 33 °C.

A temperatura elevada da água e os níveis de oxigênio dissolvido têm uma relação inversa, significando que, à medida que a temperatura da água aumenta, a quantidade de oxigênio dissolvido na água diminui. Esta diminuição nos níveis de oxigênio pode ser prejudicial aos organismos aquáticos cultivados (Yusoff et al. 2024). No presente estudo, os níveis de oxigênio dissolvido foram significativamente reduzidos no tratamento com substrato de caroço de açaí ($7,36 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto as temperaturas permaneceram consistentes em todos os tratamentos, indicando que a temperatura não influenciou este resultado.

Sterzelecki et al. (2022) descobriram que o caroço de açaí (*Euterpe Oleracea* L) pode

servir como um sistema de suporte biológico eficaz, oferecendo alta eficiência a um baixo custo e ajudando a manter os níveis de amônia total abaixo de limites perigosos. Uma hipótese é que o próprio caroço de açaí seja responsável pela redução nos níveis de oxigênio dissolvido, pois em nosso estudo, os níveis de amônia total foram menores no tratamento com substrato de caroço de açaí, indicando que o declínio no oxigênio dissolvido neste tratamento pode estar associado à atividade de nitrificação, que é um processo aeróbico (Owatari et al. 2022).

Apesar disso, no presente estudo, o desempenho de crescimento do tambaqui foi consistente entre os tratamentos. Não apenas os níveis de oxigênio dissolvido foram adequados, mas outras variáveis de qualidade da água, incluindo pH, condutividade elétrica, alcalinidade, nitrogênio amoniacal total, nitrito e nitrato também permaneceram dentro da faixa ideal para esta espécie em todos os tratamentos, permitindo que os peixes se desenvolvessem adequadamente. Semelhante ao presente estudo, Nascimento et al. (2023) também não observaram diferenças significativas no desempenho de crescimento do tambaqui em um sistema de aquaponia que produziu mudas tardias de açaí (*E. Oleraceae*) em diferentes níveis de inundação (5, 10 e 15 cm) com tambaqui.

Da mesma forma, em um sistema de aquaponia, Guimarães et al. (2024) relataram que diferentes densidades (32, 72, 128 e 512 células m⁻²) de coentro (*Coriandrum Sativum* L) não afetaram o desempenho de crescimento do tambaqui. No entanto, Natividade et al. (2024) relataram que uma taxa de carregamento hidráulico (TCH) de 5,4 m³ dia⁻¹ m⁻² melhorou o desempenho de crescimento dos peixes em um sistema de aquaponia com mudas de açaí. Isso sugere que a presença de plantas pode não afetar diretamente o crescimento dos peixes, mas sim a qualidade da água, que pode ser influenciada pelo fluxo de água no leito hidropônico onde as plantas estão fixadas, afetando assim a remoção de impurezas da água.

No presente estudo, os modelos de células e bandejas de plantio impactaram o crescimento do ipê-rosa. De fato, o design da bandeja de mudas pode influenciar a qualidade e o desempenho das plantas. Por exemplo, bandejas de propagação que minimizam o contato entre o substrato e as estruturas plásticas podem ajudar a prevenir deformidades radiculares. Assim, a eficácia de diferentes designs de bandejas na produção de resultados ideais pode variar dependendo da variedade da árvore e da morfologia típica de seu sistema radicular (McGrath et al. 2017).

He et al. (2018) compararam as características de crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) entre plantas cultivadas em sistemas de bandeja tipo bacia (Pot-S), bandeja tipo manta (Flat-S) e bandeja tipo bacia/manta (Pot-flat-S), e observaram que a maior produtividade no tratamento Pot-S, seguido pelo Pot-flat-S e, finalmente, o Flat-S. Além disso, as alturas relativas

das três folhas superiores da planta foram maiores no Pot-S do que nos outros dois tratamentos. Por outro lado, McGrath et al. (2021) relataram que o design da bandeja impactou a qualidade e o desempenho de mudas de choupo oriental (*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall ssp. *deltoides*) e cerejeira negra (*Prunus serotina* Ehrh.). Nesta ocasião, bandejas abertas com alta exposição do substrato produziram mudas com aproximadamente três vezes menos peso de raízes em comparação com bandeja de parede fechada com baixa exposição do substrato, para ambas as espécies.

Isso corrobora os achados do presente estudo, que encontrou influência do design da bandeja no desenvolvimento da planta. No estudo atual, mudas de ipê-rosa (*H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos) mostraram desenvolvimento significativo no tratamento em sementeiras de poliestireno, evidenciado nos vários índices fitotécnicos avaliados. Variáveis morfológicas como comprimento total, comprimento aéreo total, comprimento da raiz e área foliar são comumente usadas na ciência florestal e ecofisiologia vegetal porque estão diretamente relacionadas ao desempenho fisiológico, capacidade de sobrevivência e crescimento inicial das mudas após serem plantadas no campo (Machado et al. 2018; Guimarães et al. 2025).

Por exemplo, um maior comprimento total pode indicar o vigor geral da muda, que resulta em um crescimento equilibrado entre a parte aérea e o sistema radicular da muda de ipê-rosa no tratamento sementeira de poliestireno. Mudas saudáveis mais altas sugerem tipicamente maior acúmulo de biomassa e eficiência metabólica melhorada no estágio de viveiro. O aumento do comprimento geral está ligado a uma competitividade inicial aprimorada, particularmente em ambientes onde pode haver competição por luz, água e nutrientes (Taiz et al. 2021). Pesquisas em silvicultura indicam que mudas com maior vigor tipicamente têm taxas de sobrevivência mais altas e melhor crescimento após o plantio (Grossnickle 2012; Guimarães et al. 2025). Portanto, o comprimento total serve como uma medida abrangente da qualidade morfológica.

Adicionalmente, o comprimento geral da parte aérea (caule + folhas) está intimamente ligado à capacidade fotossintética e ao crescimento acima do solo (Taiz et al. 2021). Em ambientes de reflorestamento, mudas mais altas podem ter uma vantagem competitiva contra espécies invasoras capturando luz antes que ocorra o sombreamento. É crucial, no entanto, que o sistema radicular seja proporcional ao comprimento da parte aérea para garantir estabilidade hídrica na planta (Grossnickle 2012). Raízes mais profundas exploram um volume maior de solo, aumentando a absorção de água e nutrientes. Um sistema radicular bem desenvolvido, melhora a resistência ao estresse hídrico, particularmente em períodos secos após o plantio.

Além disso, raízes mais fortes e profundas fornecem melhor suporte mecânico,

reduzindo o risco de tombamento da planta (Grossnickle 2012; Taiz et al. 2021). Isso é especialmente importante para espécies florestais como as de *Handroanthus* (Scarpa et al. 2021) prosperarem em seu ambiente natural.

Por outro lado, as folhas servem como os principais órgãos fotossintéticos das plantas, com a área foliar desempenhando um papel crucial na produção de energia (Taiz et al. 2021). Portanto, uma área foliar maior aumenta a capacidade de captura de luz e produção de energia. Neste contexto, as mudas de ipê-rosa produzidas neste estudo usando tecnologia de aquaponia integrada com a criação de tambaqui podem potencial de melhor estabelecimento após-transplante, o que deve ser confirmado em estudos anteriores

Guimarães et al. (2025) estudaram o impacto do tamanho inicial da muda no crescimento de três espécies de árvores amazônicas (*Bertholletia excelsa* Blomp, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f. e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima) usando métodos de preparação manual de covas e preparação mecânica do solo. Após três anos, constataram que plantar mudas maiores e mais robustas foi mais eficaz do que qualquer método de preparação do solo para aumentar o crescimento de *D. odorata*. Isso destaca a importância de regenerar artificialmente espécies ecológica e economicamente importantes como o ipê-rosa.

O plantio de espécies madeireiras em florestas poderia ajudar a aliviar a pressão sobre a floresta amazônica e apoiar o desenvolvimento sustentável na região, levando a benefícios ecológicos e sociais (Machado et al. 2018; Pimentel e Rempel 2022). Sistemas integrados de produção, como os sistemas de aquaponia propostos neste estudo, combinam atividades agrícolas, florestais e de aquicultura para aumentar a biodiversidade, promover o sequestro de carbono e minimizar impactos ambientais. Atualmente, várias estratégias têm sido sugeridas para otimizar a utilização de recursos naturais e promover a produtividade sustentável. A aquaponia surgiu como uma solução promissora, integrando a criação de organismos aquáticos, cultivo de legumes e, como mostrado neste estudo, a produção de mudas de árvores em um sistema biocircular que utiliza resíduos de organismos aquáticos como nutrientes para as plantas. Isso destaca a aquaponia como uma ferramenta valiosa para a sustentabilidade.

Conclusão

O estudo demonstrou a viabilidade do sistema aquapônico integrado com Tambaqui para a produção inicial de plântulas de Ipê-rosa, garantindo a estabilidade da qualidade da água e a boa adaptação dos peixes, que mantiveram 100% de sobrevivência independentemente do recipiente utilizado para as plantas. No entanto, o tipo de recipiente influenciou

significativamente o desenvolvimento vegetal: enquanto a sementeira de poliestireno promoveu maior vigor e crescimento biométrico (altura, raiz e massa), os copos hidropônicos resultaram em mudas com maior equilíbrio morfológico e robustez (Índice de Dickson). Apesar de confirmar o potencial sustentável da técnica, recomenda-se a realização de estudos futuros com maior duração e avaliação pós-transplante para validar o desempenho das mudas em campo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao PDPG—Programa Estratégico de Pós-Doutorado Nº 16/2022/CAPES—bolsa de pós-doutorado para Sávio Lucas de Matos Guerreiro (processo nº 88887.939510/2024-00).

Financiamento

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através do PROCAD AMAZÔNIA 2018 (projeto nº 88887.200588/2018-00).

Declaração dos Autores

P.C.A.L. Conceituação, Metodologia, Análise formal, Validação, Investigação, Redação - Rascunho Original. F.C.S. Validação, Metodologia, Conceituação, Redação - Rascunho Original, Administração do projeto. J.F.G.C.J. Análise formal, Validação, Investigação. B.S.M. Investigação, Curadoria de dados. D.L.C. Investigação, Análise formal. N.F.A.C.M. Aquisição de financiamento, Administração do projeto. M.S.O. Curadoria de dados, Revisão do manuscrito, Redação - Rascunho Original, Redação - Revisão e Edição. S.L.M.G. Investigação, Curadoria de dados. G.D.A.P. Aquisição de financiamento, Curadoria de dados, Conceituação, Administração do projeto, Supervisão, Redação - Rascunho Original, Redação - Revisão e Edição.

Declarações

Disponibilidade de dados: Os dados relacionados a esta pesquisa estão disponíveis mediante solicitação prévia.

Declaração de interesses conflitantes: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que poderiam ter parecido influenciar o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de ética: Todos os procedimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural da Amazônia (CEUA/UFRA), protocolo número CEUA 8598010323.

REFERÊNCIAS

- Allen KS, Harper RW, Bayer A, Brazee NJ (2017) A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. *Urban For Urban Green* 21:183-191. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.002>
- Cavero BAS, Rubim MAL, Pereira TM (2009) Criação comercial do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). Manejo e sanidade de peixes em cultivo. Macapá, 1, 33-46. p. 724
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1886240>
- Daibes LF, Amoêdo SC, Moraes JN, Fenelon N, Silva DR, Melo Lopes, MJ, Vargas LA, Monteiro EF, Frigeri RB (2019) Thermal requirements of seed germination of ten tree species occurring in the western Brazilian Amazon. *Seed Sci Res* 29(2):115-123. <https://doi.org/10.1017/S0960258519000096>
- Ferreira RB, Parreira MR, de Arruda FV, Falcão MJ, Mansano VF, Nabout JC (2022) Combining ecological niche models with experimental seed germination to estimate the effect of climate change on the distribution of endangered plant species in the Brazilian Cerrado. *Environ Monit Assess* 194(4):283. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09897-7>
- Guimarães RQ, Sterzelecki FC, Souza RJF, Carvalho TCC, Silva AL, Owatari MS, Santos MLS, Luz RK, Melo NFAC, Palheta GDA (2024) Integrated cultivation of tambaqui (*Colossoma macropomum*) with coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown at different plant density. *J Clean Prod* 470:143346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143346>
- Guimarães ZTM, Lima Lopes LF, Ferreira MJ (2025) Productivity and Stem Quality of Amazon Tree Species: Effects of Initial Seedling Size and Site Preparation methods. *For Sci* 71(1):1-20. <https://doi.org/10.1007/s44391-024-00010-8>
- Gomes JM, Carvalho JOPD, Silva MGD, Nobre DNV, Taffarel M, Ferreira JER, Santos RNJ (2010) Survival of seedlings planted in gaps after harvesting in a terra firme rain forest in Paragominas region in the Brazilian Amazonia. *Acta Amaz* 40:171-178. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100022>
- Grossnickle SC (2012) Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New For* 43(5):711-738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>

- Haase DL, Bouzza K, Emerton L, Friday JB, Lieberg B, Aldrete A, Davis AS (2021) The high cost of the low-cost polybag system: A review of nursery seedling production systems. *Land* 10(8):826. <https://doi.org/10.3390/su10010272>
- He H, You C, Wu H, Zhu D, Yang R, He Q, Xu L, Gui W, Wu L (2018) Effects of nursery tray and transplanting methods on rice yield. *Agron J* 110(1):104-114. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0334>
- Hernandez JO, Naeem M, Zaman W (2023) How does changing environment influence plant seed movements as populations of dispersal vectors decline?. *Plants* 12(7):1462. <https://doi.org/10.3390/plants12071462>
- Lamhamedi MS, Pepin S, Khasa D (2023) The Production Chain of Tree Seedlings, from Seeds to Sustainable Plantations: An Essential Link for the Success of Reforestation and Restoration Programs in the Context of Climate Change. *Forests* 14(9):1693. <https://doi.org/10.3390/f14091693>
- Levine CP, Hayashi S, Ohmori Y, Kusano M, Kobayashi M, Nishizawa T, Kurimoto I, Kawabata S, Yamori W, Yamori W (2023) Controlling root zone temperature improves plant growth and pigments in hydroponic lettuce. *Ann Bot* 132(3):455-470. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad127>
- Machado MR, Camara R, Sampaio PDTB, Ferraz JBS, Pereira MG (2018) Silvicultural performance of five forest species in the central Brazilian Amazon. *Acta Amaz* 48(1):10-17. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201700602>
- McGrath D, Henry J, Munroe R, Agro E (2017) Effect of propagation tray design on early stage root development of *Acer rubrum*, *Quercus rubra*, and *Populus tremuloides*. *J Environ Hortic* 35(1):35-40. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-35.1.35>
- McGrath D, Henry J, Munroe R, Williams C (2021) From propagation to field: Influence of tray design on tree seedling quality and performance. *J Environ Hortic* 39(1):33-40. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-39.1.33>
- Morais ILL, de Lima AA, Santos INLD, Meneses C, da Silva RF, Lopes R, Ramos SLF, Aguiar AV, Wrege MS, Lopes MTG (2024) Climate change impact on the distribution of forest species in the Brazilian Amazon. *Sustainability* 16(8):3458. <https://doi.org/10.3390/su16083458>
- Nair CS, Manoharan R, Nishanth D, Subramanian R, Neumann E, Jaleel A (2025) Recent advancements in aquaponics with special emphasis on its sustainability. *J World Aquacul Soc* 56(1):e13116. <https://doi.org/10.1111/jwas.13116>

- Nascimento ETDS, Pereira Junior RF, Reis VSD, Gomes, BDJF, Owatari MS, Luz RK, Melo NFAC, Santos MLS, Palheta GDA, Sterzelecki FC (2023) Production of late seedlings of açai (*Euterpe oleraceae*) in an aquaponic system with tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). Agriculture 13(8):1581. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081581>
- Natividade J, Sterzelecki FC, Fazzi-Gomes PF, Sena MC, Owatari MS, Melo NFAC, Santos MLS, Luz RK, Palheta GDA (2024) Nitrogenous compounds, fish and plant growth were impacted by hydraulic loading rates on the aquaponic bed with açai seed (*Euterpe oleracea*). J Water Proc Engineering 61:105292. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105292>
- Niu G, Masabni J (2022) Hydroponics. In Plant factory basics, applications and advances. Academic Press, pp. 153-166. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85152-7.00023-9>
- Norman M, Zunino AR (2022) Demand for luxury decks in Europe and North America is pushing Ipê to the brink of extinction across the Amazon basin & threatening the forest frontier. Forest Policy Trade and Finance Initiative Report. <https://revistacenarium.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Demand-for-Luxury-Decks-in-Europe-and-NA-is-Pushing-Ipe-to-the-Brink-of-Extinction.pdf>
- Nyoka BI, Roshetko J, Jamnadass R, Muriuki J, Kalinganire A, Lillesø JPB, Beedy T, Cornelius J (2015) Tree seed and seedling supply systems: a review of the Asia, Africa and Latin America models. Small-scale Forestry 14(2):171-191. <https://doi.org/10.1007/s11842-014-9280-8>
- Owatari MS, Magnotti C, Mattos DC, Mendonça RC, Barros LC, Sterzelecki FC (2022) Sistemas de recirculação e reúso de água na aquicultura: Uma ferramenta para sustentabilidade. In Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais volume X. Editora Conhecimento Livre, Piracanjuba, Goiás. p. 65-90. <https://doi.org/10.37423/221206928>
- Palheta GDA, Jesus AMBSD, Lima LM, Guerreiro SLDM, Melo NFACD, Luz RK, Sterzelecki FC, Galvão JR (2025) Evaluating the Productivity of Jambu (*Acmella oleracea*) with Effluent from Tambaqui Culture: An Integrated Aquaculture—Agriculture Approach for the Amazon. Agriculture 15(22):2332. <https://doi.org/10.3390/agriculture15222332>
- Pimentel JF, Rempel C (2022) Plantio de mudas de espécies arbóreas nativas para a restauração das áreas de preservação permanente no sul da Amazônia. Rev. Ibero-Am Ciênc Ambient 13(8):12-30. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0002>
- Pinto RC, Pinheiro C, Vidal E, Schwartz G (2021). Technical and financial evaluation of enrichment planting in logging gaps with the high-value species *Swietenia macrophylla*

- and *Handroanthus serratifolius* in the Eastern Amazon. For Ecol Manag 495:119380. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119380>
- Rakocy JE (2012) Aquaponics—integrating fish and plant culture. In Tidwell, J. H. (ed) Aquaculture Production Systems. p. 344-386. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch14>
- Scarpa ALM, da Cunha Cruz Y, Duarte VP, de Castro EM, Pasqual M, de Oliveira JPV, Pereira FJ (2022) Growth response, gas exchange, and leaf anatomy of *Handroanthus* spp. seedlings in mine tailings enriched with nutrient solution. J Soil Sci Plant Nutr 22(3):3774-3787. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00926-5>
- Silva IMS, Calvi GP, Baskin CC, Dos Santos GR, Leal-Filho N, Ferraz IDK (2021) Response of central Amazon rainforest soil seed banks to climate change-Simulation of global warming. For Ecol Manag 493:119224. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119224>
- Silva VN, Bernardes MM, Pereira AAS, Ferreira RA, Pereira EG, Bicalho EM (2023) Seed Priming of (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) for the Restoration of the Mining Fields. Water Air Soil Pollut 234(1):31. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-06032-7>
- Silva SS, Brown F, de Oliveira Sampaio A, Silva ALC, dos Santos NCRS, Lima AC, Aquino AMS, Silva PHC, Moreira JGV, Oliveira I, Costa AA, Fearnside PM (2023) Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. Perspect Ecol Conserv 21(4):311-317. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.10.006>
- Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A (2014) Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, (589), I.
- Souza DC, Engel VL (2023) Advances, challenges, and directions for ecological restoration by direct seeding of trees: Lessons from Brazil. Biol Conserv 284:110172. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110172>
- Sterzelecki FC, de Jesus AM, Jorge JLC, Tavares CM, de Souza AJN, Santos MDLS, Takata R, Melo NFAC, Palheta GDA (2022) Açaí palm, *Euterpe oleracea*, seed for aquaponic media and seedling production. Aquac Eng 98:102270. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102270>
- Sullivan MK, Fayolle A, Bush E, Ofosu-Bamfo B, Vleminckx J, Metz MR, Queenborough SA (2024) Cascading effects of climate change: new advances in drivers and shifts of tropical reproductive phenology. Plant Ecol 225(3):175-187. <https://doi.org/10.1007/s11258-023-01377-3>

- Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2021) Fundamentos de fisiologia vegetal 6th ed. Artmed Editora. 584 p.
- Varkulja L (2025) The Tree, The Forest. J Arch Ed 79(1):157-163.
<https://doi.org/10.1080/10464883.2025.2463308>
- Yusoff FM, Umi WA, Ramli NM, Harun R (2024) Water quality management in aquaculture. Cambridge Prisms: Water 2:e8.